http://bbs.3s001.com/

海洋新探索丛书

宋金明 编著

崛起的海洋资源开发



山东科学技术出版社

http://bbs.3s001.com/

海洋—人类赖以生存发展的基础

一、海洋资源的开发利用

浩瀚的海洋,被人们誉为生命的摇篮、资源的宝库,与人类的生存、发展有着极为密切的关系。20 世纪 60 年代以来,海洋科学已从认识海洋的阶段向开发利用海洋的阶段发展。 21 世纪是海洋的世纪。当今的世界,面临人口、资源、环境三大问题,开发利用海洋资源、保护海洋生态环境,是解决上述问题的重要途径。《联合国海洋法公约》的签署,确立了大陆架、200 海里专属经济区和国际海底等新的法律制度,使全世界海洋的 35.8% 划归沿海国管辖。同时,随着陆地上多种资源的日益减少以及开发利用技术的不断进步,越来越多的沿海国家把目光转向海洋,海洋逐渐成为现代大规模开发利用资源的新领域。

中国海域辽阔,海岸线漫长,岛屿众多,资源丰富,为开发利用海洋提供了优越的条件。向海洋要财富、变海洋资源优势为经济优势,已成为越来越多人的共识,前所未有的开发利用海洋资源的活动正在日益蓬勃开展,开发海洋资源对建设社会主义现代化强国将起着越来越重要的作用。

http://bbs.3s001.com/

(一)海洋——人类共同的希望

海洋是生命的摇蓝，风雨的故乡，气候的调节器，交通的要道,资源的宝库。现在看来,这样的说法是很不够的,更全面、深刻的说法应是这样：海洋是人类可持续发展的重要基地，海洋是人类共同的希望，开发利用海洋是解决当前人类社会面临的人口膨胀、资源短缺和环境恶化等系列难题的极为可靠的途径。

海洋占地球表面的 71%,占地球总水量的 97%以上,海水取之不尽、用之不竭。几个世纪以来，海洋一直是世界各国的交通运输要道，至今海洋仍承担着全世界 70%的货运量。海洋中蕴藏着极其丰富的资源：在海水的化学组成方面，自然界已发现的百余种元素中,有 80 多种在海洋中已被检出；在固体矿产方面,科学家估计,世界洋底蕴藏着大约 3×10^{12}吨锰结核资源量，据不完全统计，仅在西太平洋火山构造隆起带富钴结壳的潜在资源量就达 1×10^{9}吨以上；海底石油资源量约 1.35×10^{11}吨,天然气约 1.4×10^{14}米^3,约占世界油气总资源量的 45%,目前,海上油气采量约占全球油气开采量的 30%;在可再生能源方面，包括潮汐能、海浪能、海水热能、盐度差能等,可供开发利用的总量在 1.5×10^{11} 千瓦以上，相当于目前全世界发电总量的十几倍;在生物资源方面,海洋中存活着 20 多万种生物,地球动物界在 32 个门类中,有 23 个仍然生活在海洋中,据推算,海洋的初级生产力每年有 6×10^{11} 吨,其中可供人类利用的鱼类、贝类、虾类、藻类等,每年有 6×10^{8}吨，而现在全世界每年捕捞量仅为 9×10^{7}吨左右。目前，海产品提供的蛋白质约占人类食用蛋白质总量的 22%。

由于得益于海洋的区位优势和丰富的资源，自古以来，凡是重视海洋的国家都成了发达的国家。在中国，郑和七次下西洋

http://bbs.3s001.com/

是明朝最为鼎盛的时期。1492年,哥伦布从西班牙出海,发现美洲大陆,带来了西班牙200年的繁荣。后来,荷兰海洋事业发展起来,称雄一时。18世纪以后,英国海洋事业大发展,占领了遍布世界各地的众多陆地和岛屿,号称"日不落国"。迄今,凡是海洋事业强大的国家,大多是发达国家;所有沿海国家的发达地区,几乎都是在临海地区。海洋与民族兴旺、国家繁荣紧紧连在一起。

随着科学技术和社会经济的迅速发展,海洋在人类社会发展中的地位越来越重要,国际社会和沿海国家都在把发展的眼光投向海洋,各国围绕海洋权益的矛盾与争夺也越来越突出。维护海洋权益,强化海洋开发与保护,切实管好用好海洋,正在成为时代的特征。

国际社会异常关注海洋事业。1990年第45届联合国大会通过决议,敦促沿海各国把海洋开发与保护作为国家发展战略。1992年世界环境与发展大会通过的《21世纪议程》,把海洋列为实施可持续发展战略的重点领域。1994年第49届联合国大会通过决议,把1998年作为国际海洋年,号召各国以实际行动迎接21世纪这个海洋事业大发展时代的到来。特别是《联合国海洋法公约》1994年11月16日的正式生效,标志着国际海洋新秩序开始建立。在这一新的形势下,各沿海国家出现以下动向:

第一,各国争相扩大管辖海域,使海洋事务上升为重要而复杂的国际事务之一。《联合国海洋法公约》规定,各沿海国家可拥有200海里专属经济区和大陆架在内的管辖海域,这样一来,世界海洋总面积3.61×10^8(千米)^{2}中的35.8%,即1.09×10^8(千米)^{2}将划归各沿海国家管辖,其中380多处海域需要相临或相向国家协商划定。这一新的"蓝色圈地运动",既扩大了各

http://bbs.3s001.com/

沿海国家的管辖海域，打破了少数海洋强国称霸海洋事业的格局,又使有关国家海上矛盾加剧。

第二,各沿海国家不断加大海洋资源开发力度,使海洋经济成为世界经济中发展较快的一个领域。很多沿海国家都把开发海洋资源列入国家发展战略,同时由于海洋开发利用难度高、风险大，也都加大了投入。据统计，70 年代以来，世界海洋产值每 10 年就翻一番：70 年代初为 1 100 亿美元，1980 年为 3 400 亿美元，1992 年为 6 700 亿美元，1995 年为 8 000 亿美元，预计 2000 年可达到 15 000 亿美元。

第三，大力加强海洋环境与资源保护工作。鉴于海洋对人类生存与发展的极端重要性，根据近年来人类在海上和陆地上的各种活动加剧了海洋环境的变化，特别是近岸海域的污染加重的实际情况，一些科学家发出了“没有健康的海洋，人类社会就会灭亡”的严重警告，沿海各国和国际社会在陆续采取各种措施加强对海洋环境的保护。已出台的仅涉及海洋环境保护的国际公约就有 40 多个。

第四，强化国家对海洋的法制建设、执法力度和综合管理工作。截止到 1997 年 7 月，全世界已有 120 多个国家批准了《联合国海洋法公约》,宣布实行 200 海里专属经济区和大陆架制度，并加强了与之配套的涉海法规建设。一些海洋大国纷纷建立强大、高效、装备精良的海上执法队伍，如美国建有准军事化的海岸警备队，日本设有海上保安厅。为了加强海洋综合管理和统一协调涉海工作，一些国家在政府内设置了相应的海洋统一管理的职能机构，如韩国在 1996 年新成立了海洋与水产部。

中国也十分重视海洋资源的开发利用，中华人民共和国成

http://bbs.3s001.com/

立后，开展了首次全国海洋普查，着手建设强大的海防力量。改革开放以来，组织了全国范围的大规模的海洋资源调查，开创了大洋和极地考察事业，并在沿海地带开辟经济特区，激励沿海经济高速发展。以战略的眼光，直接经略海洋，从国家发展战略的高度部署海洋开发与保护。

中国海洋的基本状况是：大陆岸线总长度 18 000 千米，拥有面积在 500 米^2 以上的岛屿 6 500 多个，海岛岸线长度 14 000 千米。根据《联合国海洋法公约》（全国人大常委会已于 1996 年 5 月 15 日批准）的规定和我国的主张，我国可管辖的海域有 3×10^6（千米）^{2}，相当于我国陆地国土面积的 1/3。这片辽阔的“蓝色国土”是一个富饶的资源宝库，其中鱼类等生物种类繁多（已确认的有 2 万多种），油气资源量丰富（石油资源量 2×10^{10} 吨以上，天然气 2.9×10^{12} 米^3 以上，各占全国油气总资源量的 20％左右）。此外，港湾、食盐、矿产、旅游景点等资源也都相当丰富，可供长期开发利用。

近年来，我国海洋经济发展异常迅猛。全国海洋产业总产值，1979 年时只有 64 亿元，1990 年增至 439 亿元，1995 年 2 464 亿元，1996 年已达到 2 800 多亿元，平均每年增长 20％以上，预计到 2000 年将达到 5 000 亿元，约占国内生产总值的 5％。其发展速度远高于国民经济年平均增长率，也高于经济发展最快的沿海地区的年平均增长值，已经成为国民经济新的增长点。从目前海洋各产业看，我国海水养殖业发展很快，海洋水产总量以及盐业产量均居世界第一位。沿海港口发展迅速，货物吞吐量已达 8 亿吨以上，造船工业居世界第三位，海洋运输已承担我国外贸 70％的货运量。近年来，海洋油气、海洋旅游等新兴产业异军突起，为沿海地区进行大规模经济建设提供了科学依据。

http://bbs.3s001.com/

颁布了《中国海洋 21 世纪议程》,编制和发布了我国第一部《全国海洋开发规划》和《国家海洋技术政策》,制定了全国海洋功能区划。多年来，坚持开展了海岸带和近岸海域的海洋环境监测、监视与保护工作，严防海洋环境破坏和严重污染事件发生。建立了全国海洋环境预报、海洋信息服务等海洋公益服务系统,为减轻海洋灾害和促进海洋经济发展提供了有效服务。进行了大陆架、专属经济区、南极以及大洋的深入调查和研究工作。通过实施‘科技兴海’战略,执行海洋科技攻关计划和‘海洋 863 计划’等,加速海洋科学技术的发展和应用。积极开展国际合作与交流，在国际海洋舞台上发挥重要作用。

21 世纪将是海洋事业大发展的时代。形势的发展需要我们从战略的高度对待海洋，把海洋事业的发展列入国家发展战略，作出战略性的部署。这包括把海洋经济作为国家经济的一个重要增长点,使之与整个国民经济同步规划、同步发展 瞄准建设世界海洋强国的目标,加大海洋开发力度,形成结构合理的海洋产业群 把海洋环境的监视保护和整治,摆到国家环保事业的重点位置；把维护海洋权益作为国家外交政策的重要组成部分。我国海洋开发的战略目标是：立足海洋的可持续发展和永续利用,维护良性循环的海洋生态系统,形成科学合理的海洋开发体系,建设海洋经济强国,力争到 2010 年使我国海洋产业产值占国民生产总值的 10% ,为国家 2010 年远景目标的实现和 21 世纪中叶基本实现现代化做出重要贡献。

(二)开发利用海洋

占地球表面积 71% 的海洋是人类赖以生存的基本条件之一,也是人类社会可持续发展的重要财富。世界经济的增长、科学的发展和社会的进步，均离不开对海洋的开发利用。传统的

http://bbs.3s001.com/

海洋产业(如海上运输业、海洋渔业、海洋盐业)和新兴的海洋产业(如海洋石油、海洋旅游、海洋发电、海洋生物工程),都正在为人类社会做出与日俱增的贡献。

海洋形成了我们这个星球的特色，它是全球生命支持系统的重要组成部分。地球的大部分生存空间是海洋，地球上 97% 的水存在于海洋，这决非巧合。近年来，海洋探测发现了一些完全不同的深海生态系统，从而促使我们用新的方式考虑生命的起源问题。

海洋对天气和气候起着决定作用，对气温起着稳定作用。研究表明，海气交互作用、海平面升降、厄尔尼诺现象、赤道暖流、季风和极地冰川是影响全球气候的主要因素。其中对全球气候影响最大的是寒冷的两极（北极和南极）和酷热的赤道，它们控制着全球短期和长期的气候变化。极地的冰期和间冰期对海平面的升降也起到主导作用。对南极及其冰盖的勘查研究表明，在始新世期间，南极是一个风和日丽、气候湿润、森林覆盖、花草丛生的地方，到早渐新世才开始变冷，出现冰川，到晚第三纪则全部被冰雪覆盖。因此，研究海洋与天气气候的变迁，对深刻了解地球环境的演化是十分有益的。

20 世纪 60 年代开始的深海海洋勘探，为地球科学做出了显著的贡献，也为全球板块构造学说提供了强有力的证据。由海底勘探得到的海底沉积物，其存在年份是从大洋中嵴向两侧逐渐增加的，这有力地支持了海底扩张学说。深海海洋勘探还提示了最古老的洋壳年龄不超过 1.7 亿年,而陆壳岩石的年龄最大可达 35 亿年。这是因为新洋壳产生于洋中嵴，老洋壳俯冲并消亡于海沟。全球板块构造学说不仅加深了我们对地球本身的认识，而且为广泛的国际合作（如国际地壳上地幔计划、国际

http://bbs.3s001.com/

岩石层计划、大陆超深钻探计划、深海钻探计划以及大洋钻探计划等的实施）提供了重要的理论依据。

深海海洋勘探对海底多金属矿产的发现和开发同样具有十分重要的意义。锰结核和铜、铅、锌、金、银矿床是目前已知的主要矿种。到 1993 年底为止，已发现了 139 个块状金属硫化物矿床，其中最大的一个硫化物矿床储量达 10^8 吨，而一般的储量界于数百万吨至数千万吨。值得一提的是，这些矿藏还仅是不到 1% 的洋壳表面上勘探的初步结果。

目前，海洋开发利用已进入一个新时期，即现代海洋开发利用阶段。海洋开发利用规模和领域正在不断扩大和延伸。除了传统的海洋渔业、海运和海盐之外，已经开拓了许多新的开发利用领域，包括能源、水源、矿物、生物资源、化工原料以及海洋空间本身的利用。其中有些已经形成产业，如海洋油气、海水养殖、滨海旅游、海洋化工等，被称为新兴的海洋产业 有些正在开拓之中，如深海采矿、海洋再生能源发电、海水综合利用、海洋新的空间利用等，在 21 世纪有可能形成产业，称为未来的海洋产业。1980 年世界海洋开发产值约 3 400 亿美元，1985 年增加到 4 000 亿美元，目前已接近 10 000 亿美元。有人预测，到 2000 年，世界海洋开发产值可能达到 15 000 亿～20 000 亿美元，届时海洋开发产值在世界经济总产值中的比重将会进一步提高。甚至有人预言，到 21 世纪 50 年代，世界将全面进入海洋经济时代。在我国，近年来海洋开发也有很大发展，海洋经济上了一个新台阶。传统的海洋产业有了新发展，新兴的产业迅速崛起，发展速度之快，举世瞩目。1990 年我国主要海洋产业产值已达 439 亿元，占国内生产总值的 1.15%，比 1979 年翻了一番多。估计到 2000 年有可能提升到 3%左右，接近目前的世界平均水

http://bbs.3s001.com/

平。

1.海洋能源问题

海洋石油储量约 1.35×10^{11} 吨,天然气约 1.4×10^{14} 米^3,分别是地球油气总储量的 45% 和 50%。海上油气开发刚刚起步,目前海上油气开发量只相当于陆地上 50 年代末期的开发量,可以说大部分资源尚未开发利用。另一方面,从海上油气实际开发进展看,1989 年世界近海已查明石油储量为 3.656×10^{10}吨,天然气 3.01×10^{13}米^3 海上石油产量达 7.42×10^{8} 吨,天然气为 3.0781×10^{11} 米^3。分别占世界油气总产量 25%和 20%。有些石油专家估计,到 2000 年,世界海洋油气生产将呈较大的上升趋势,海上石油产量可能达到 1.3×10^{9} 吨,约占当时世界石油总消耗量的 40%以上。因此,无论从储量估计和开发趋势看,在未来世界油气开发和能源供应中,海洋油气资源无疑具有重大战略意义。我国近海大陆架面积 140(千米)^2,蕴藏有丰富的海底油气资源,初步估计石油地质储量约 2.5×10^{10} 吨。经过十几年的勘探,已发现 61 个油气构造,特别是近年来勘探又获重大进展,在东海、辽东湾、珠江口以及黄河入海口先后发现了大型油田。从油气开发情况看,目前已经投产油田 4 个,正在开发的有 7 个油田,海上石油产量已超过 200 万吨。今后海上油气开发速度可能加快,估计到 2000 年海上石油产量有可能达到 1 000万吨,其所占的比重将由目前的 2%提升到 10% 左右,加上海上天然气产量,届时海洋油气在我国石化能源中的地位将有显著提高。但是,迄今海上油气资源尚未查清,钻井数很少,有远景的构造钻探数还不到 1/3。

为了充分开发海上丰富的油气资源,除了开采技术和油气输运技术外,还必须依赖于海洋科学技术的支持,需要对许多海

http://bbs.3s001.com/

洋科学问题进行深入的研究，其中包括与油气勘探有关的海洋地质科学问题、与保障开采活动安全有关的物理海洋问题、与减少因开采油气而引起的污染有关的海洋环境问题等等。

2. 海洋中的生物资源是人类重要的蛋白质来源

目前人类从海洋取得的食物只占食物总量的 1%，但它所提供的蛋白质则占人类食用动物蛋白的 22%。所以，充分开发利用海洋生物资源，对解决不断增长的食物需求具有重大意义。据研究，世界海洋中生物种类多达 16 万～20 万种。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，以摄食浮游动植物为生的鱼、虾类的潜在产量为 15 亿吨。肉食性凶猛鱼类的潜在产量为 1.5 亿吨。目前，对这些生物资源的开发利用，从种类讲还只占极少部分，如现在捕捞鱼类约为 200 种，其中产量高于 100 万吨的仅 6 种，渔获总量 8 000 多万吨。据 1990 年世界资源研究所的年度研究报告估计，世界海洋水产的潜在产量为 1 亿吨，捕捞渔业资源还有一定的潜力。但是，目前海洋渔业生产主要集中在近岸大陆架水域，这个区域的捕捞渔业已达饱和程度，渔业资源遭受严重的破坏，今后不可能有较大的发展，因而捕捞渔业的开发潜力主要在于发展远洋渔业和开发新的资源。现代海洋农牧业的发展为海洋生物资源利用开辟了一条宽阔的新途径。人们正在开展一场“蓝色革命”，要把传统的“狩猎”式渔业转向新的“栽培”和“放牧”式渔业，大力发展海水增殖、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 年世界海水养殖产量已达 600 万吨，占世界海洋渔业总产量 7.5% 左右。养殖种类包括鱼、虾、贝、藻等。有人估计，随着海洋生物工程的发展，今后 20 年内，世界海水养殖产量可能达到 3 000 万吨。而未来 50 年内，海洋农牧化生产将超过

http://bbs.3s001.com/

捕捞渔业，成为海洋渔业的主体。

我国历来重视海洋生物资源的开发利用，中华人民共和国成立后，海洋渔业生产有了很大发展，目前海洋水产品产量已迅速提高到 700 万吨,增加了十几倍;人均占有量也由 1 千克提高到 6 千克。但是，由于近海渔业捕捞过度，出现渔业资源严重衰退，一些重要经济鱼类产量大幅度下降。今后，海洋生物资源开发利用的出路在于发展海水增殖、养殖和外海远洋渔业，特别是发展海水增殖、养殖业，走海洋农牧化的道路。据调查，我国沿海滩涂宜养面积约 130 万公顷,可以养鱼、虾、贝、藻和海珍品等几十个品种。目前实际养殖约 40 万公顷，占宜养滩涂面积的 30% 左右;1989 年海水养殖产量达 154 万吨。但是目前海水增殖、养殖业尚处于传统的技术水平，不仅单位产量不高，而且波动大，与农牧化生产还有很大距离。因此，要充分和合理开发利用海洋生物资源，必须加强渔业海洋学、生物海洋学和海洋生物技术的研究与开发，为保护近海渔业资源、利用新的渔业资源以及发展海洋农牧化提供科学基础。有人认为，如果能在生物海洋学基础研究和海洋生物技术上取得突破，实现海洋农牧化生产，有可能把我国海洋水产品总产量提高到 2 000 万吨的水平，相当于现在海洋水产品产量的 3～4 倍。

3.海洋空间是一种潜力巨大的海洋资源

现代海洋空间利用已从传统的港口和海洋运输，发展到利用海洋空间建造各种工业生产、生活、娱乐和储存基地，在海上建设机场、桥梁等。现已在海底开凿隧道 200 余条,大型海上桥梁 10 余座,铺设海底电缆 100 余条,光纤通讯电缆 10 余条。还建造了许多各种用途的人工岛，如日本的神户、大阪南港、横滨大觉、四日市、六甲人工岛等。全世界已经建成上千个海上娱乐

http://bbs.3s001.com/

设施和旅游中心,其中海洋公园就有 200 多个,每年仅在娱乐钓鱼方面就要花费 280 多亿美元。另外,一些国土狭小的国家,每年都在围海造地，如荷兰平均每年围海造地 10(千米)^2,日本每年 50(千米)^2。中国在海洋空间利用方面也有新的发展，除了建设海港、发展海洋运输之外，还在进行较大规模的海涂围垦，在滨海地区建设许多旅游设施，如海水浴场、海洋公园等。今后还计划在海岸带和近海的一些地区建设跨海桥梁、人工岛和海底隧道等工程设施。

但是，海岸带和近海空间的开发利用涉及众多海洋科学特别是海岸地质和环境问题,如海底地质、海岸侵蚀、泥沙运动、生态环境变化、海洋污染等，开发利用海岸带和近海必须进行有关的海洋环境基础研究。

4.大洋多金属结核资源的勘探开发是一个新的领域

世界大洋底广泛分布有多金属结核矿物，据初步估计，整个大洋底的多金属结核资源约有 3×10^{12} 吨,其中太平洋大约为 1.7×10^{12} 吨。目前，一些国家已在太平洋某些地区进行了详细勘探。从多金属结核的四种主要金属(镍、铜、钴、锰)的需求趋势看,在 2000 年之前，把它作为主要金属来源加以开发的需求并不迫切。但是，由于多金属结核的勘探开发并不单纯是一个经济问题，还有更重要的政治因素，估计到 21 世纪初有可能进行商业开采，因而大洋多金属结核资源是“21 世纪的矿物”。我国已经制定了深海多金属结核勘探开发的长期规划，并已获得国际先驱投资者的资格。在这个领域，我们还有许多有关资源和环境的应用基础研究需要继续展开，才能实现跟踪世界先进步伐的目标。

海洋开发利用必须依靠海洋科学研究的支持，以解决与资

http://bbs.3s001.com/

源和环境有关的应用基础问题，确保在最低限度地反作用环境的前提下，充分、合理和有效地开发利用海洋。

二、海洋资源的分类

按照海洋资源的性质、特点、存在形态，从资源质的规定性和由性质决定的表现特征，以及存在的方式状态等，可以将现已发现的资源分为六个大类：

（一）海洋生物资源

1. 渔业资源

渔业资源属人类早期利用的、可再生资源。

2. 药物资源

人类很早就已了解某些海洋生物的药物价值，但把它们作为一类可再生的医药资源还是现代的事。

3. 珍稀物种资源

与陆地比较，海洋里拥有更多的生物物种，具有更丰富的生物多样性。海洋动物 28 个门中，有 13 个特有门，而陆地动物 11 个门中，只有 1 个特有门，淡水动物 14 个门中没有特有门。由此说明，海洋中保存了大量的珍稀生物物种，是全球生物物种的资源库。

（二）海底矿产资源

1. 金属矿产资源

金属矿产资源其下又可分为：金属砂矿、基岩金属矿、多金属软泥、海底热液矿床和大洋多金属结核资源等次一级类型。

2. 非金属矿产资源

非金属矿产资源包括的次一级类型有：建材资源、非金属砂

http://bbs.3s001.com/

矿、海底煤矿、磷灰石和海绿石、岩盐、硫矿等。

3. 石油和天然气资源

石油和天然气目前是海洋矿产中经济意义最大的一项资源，分为海底石油和海底天然气资源两类。

(三)海洋空间资源

1. 土地资源

土地资源是指分布在海岸带区域，分潮上带、潮间带和潮下带土地。潮间带和潮下带土地处于动态过程中。就全国来看，我国平原海岸基本上属于淤长型，土地资源在不断增加。

2. 港口与交通资源

可以分为深水港、中小型港口、离岸港口等资源。

3. 环境空间资源

该类资源是由具体区域自然环境和需要决定的。一般按照使用的方向，可划分陆源排放、海上倾倒等利用类型。

(四)海水资源

海水本身是一个资源综合体，可分为直接利用和提取利用等资源。

1. 盐业资源

盐业资源系传统利用的、可再生的资源。

2. 溶存的化学资源

化学资源根据化学元素的性质或含量再划分次一级的类型。如按元素性质分为金属元素和非金属元素资源等。

3. 水资源

水资源包含作为资源的直接利用海水、海水经脱盐处理转化的淡水、在近海和海水中存的淡水水体等。

(五)海洋新能源

http://bbs.3s001.com/

现已认识到或已开始开发的新能源主要有六类，均属可再生资源。

1. 潮汐能资源

潮汐能资源指潮汐的涨落产生动力资源，分布在潮差比较大的区域，当前从技术上衡量能够形成资源的沿岸区有河口、海湾等地段。

2. 波浪能资源

波浪能即波浪动能，用以转化为电能。

3. 海流能资源

海流能资源主要分布在海流流速较大的区域。海流能发电在原理上是可行的。

4. 温差和盐差能资源

这两类能源均已证明能够进行开发，目前都在科学实验之中。从未来发展看，它们能够构成海洋两类新能源。

5. 海上风能资源

海上风能开发，对于海岛和海上常备设施的能源供应具有良好的实用价值。

(六)海洋旅游资源

随着海洋旅游事业的发展，海洋的旅游资源内涵、深度和广度,会不断有新的发现、加深和拓宽。

1. 海洋自然景观旅游资源

这类资源是以奇特、优美、壮观、风物万千为主要内容的资源。

2. 娱乐与运动旅游资源

这类资源类型很多,又可划分为 沙滩浴场、滑沙运动、滑水运动、泥滩浴场、潜水运动等。

http://bbs.3s001.com/

3. 人类海洋历史遗迹旅游资源

我国开发利用海洋、防御海洋自然灾害的历史悠久,保留了丰富的古人文景观资源。包括防灾工程(如古海塘等)、军事工程(如蓬莱水城、古炮台与古炮等)、航海遗迹、盐业和海水养殖遗迹(如古盐田与古珍珠养殖场等)以及以海洋传说、信仰为主题的寺庙、刻石、岩画等类型。

4. 海洋科学旅游资源

海陆变迁、典型与奇特海洋现象、地质露头与剖面、海洋动植物等，都是既有美学价值和科学价值的旅游资源，如古贝壳堤、古海底森林、古牡蛎壳层、地层剖面、珊瑚礁、钱塘江潮、海市蜃楼、海底村庄等。

5. 海洋自然保护区旅游资源

海洋自然保护区是重要的一类海洋旅游资源。不论以海洋景观、典型海洋生态系、生物物种多样性为对象的保护区,还是以原始海岸、海岛等为对象的保护区,都具有很高观赏价值。

http://bbs.3s001.com/

化学工业的支柱
—— 海水化学资源的提取与分离

广阔的海洋，贮存了人类需要的各种资源，这些资源的开发利用已经成为全世界经济新的生长点。随着海洋资源的开发，人类会得到巨大的收益。海水是海洋的主体，海水中溶有近百种化学物质，其中许多是陆地上稀有或稀少的，从海水中提取这些物质，造福于人类是人类社会发展的需要。海水化学资源的利用，包括从海水中获取淡水、海盐的生产、某些工业原料的提取、稀有物质的富集提取等。

一“节流开源”的重要措施—— 海水淡化

20世纪后半叶以来，各类用水量的增加超过了供应能力，致使许多地区出现了用水危机。在一些国际会议上不断发出警告——“水资源正在取代石油而成为在全世界引起危机的主要问题”；“在干旱或半干旱地区，国际河流和其他水源地的使用权,可能成为两国间战争的导火线”;淡水紧张和使用不当,对可持续发展和环境保护构成了严重而又不断增长的威胁”；“由于世界上许多地区淡水资源普遍稀缺，而且逐渐被破坏，污染日

http://bbs.3s001.com/

益严重，加之不相容的人类活动泛滥，因此必须对水资源实行统筹规划和管理”等等。尽管如此，全世界用水量的增加却随人类社会的发展仍然保持上升趋势。据俄罗斯什克罗曼诺夫的统计,全世界年用水量 1900 年为 5.79×10^{11} 米^3,到 2000 年将增加到 5.19×10^{12} 米^3,即在 100年中增长达 9 倍,其中前 50 年用水量增长约 2.53倍,而后 50 年则增长约 3.8 倍。用水量不断增长原因：一是随人口增长相应地对工农业产品要求增加，生活用水和工农业用水随之增长；二是人们生活水平不断提高，这在发展中国家问题就更为突出。除人口压力外，用水量不断增加，加上资金不足，供水能力建设跟不上，保护环境的投资就更加困难。水的供需形势趋于紧张，更易导致水环境恶化。

到 20 世纪 80 年代，发达国家人均日用水量约为发展中国家的 10 倍。发达国家的人口增长率一般较小，有的国家甚至接近零增长，而发展中国家人口增长率则相对较高。如果以人均年占有水量 1 000 米^3 作为区分水资源供需是否紧张的下限，则根据国际人口行动组织(Population Action International)的一份报告中的统计，在全世界有关水资源统计的 149 个国家中，1955 年人均年占有水量不到 1 000 米^3 的国家有 7 个,到 1990 年这样的国家就达到 19 个,预计到 2025 年将达到 30 个。以中国为例，在多年平均年径流量不变的条件下（按 2.7115×10^{12} 米^3 计）,1955 年人均年占有水量为 4 452 米^3,到 1990 年降为 2 335 米^3,而到 2025 年则将降到 1 761 米^3。因此,人口的压力不容乐观，如不下大力气控制人口增长，将会因各类用水增加导致过度开发水资源而使水环境恶化，形成灾难性后果。从人类社会的发展过程看，在一定阶段用水的增加是必然的，供水能力的增加要适应用水增长的需要，但供水能力的增加除受财力和物力的

http://bbs.3s001.com/

制约外，还必须注意自然条件的限制。如果使自然条件受到损害而影响到天然的供水能力，则后果是十分严重的。怎么办？一个共同的结论就是寻找一条水资源可持续开发的途径。

实现水资源的可持续利用，是保障人类社会的持续发展、维持人类健康的生存环境的前提，这一点是国际公认的。如何实现水资源的可持续利用，这就是一个很具体而又很困难的问题。对此，人们提出了“节流开源”。它包括两层意思：一层意思是由于淡水资源是有限的，必须节约使用它，能不用淡水的就不用淡水，能少用的要尽量少用；另一层意思还要从多种途径获得淡水资源，对此人们提出了例如雨水的高效应用、污水处理再回用、从海水和苦咸水获取淡水等等。

(一)海水淡化的意义

水与空气一样，是生命之源，是人类生存和社会发展的物质基础。节流毕竟潜力有限，而海洋是一个巨大的水源库，海水取之不尽，用之不竭。所以，海水淡化是解决水源不足的重要途径，因而淡化水的价值，也就不能单纯以它的价格来衡量。海水淡化不仅是某一国家、某一地区、某一时间的局部问题，而是世界范围内涉及到人类生存和社会发展的长远而重大的问题。海水淡化的意义，具体说来，有以下几点：

- 可以根据所需地点、所需时间、所需水量及水质进行生产，为淡水需要量的不断增长提供了保证；
- 提供某些特殊用水（如船舶与海岛用水）以及特定技术要求用水等；
- 为开垦荒漠、发展缺水地区的工农业生产提供条件；
- 利用淡化方法除去水中某些危害人体健康的成分（如氟等),提供卫生饮水；

http://bbs.3s001.com/

• 淡化技术的发展，也丰富和发展了其他生产过程中的分离技术,如海水浓缩制盐、海水综合利用、工业废水及有害废水处理、酸碱液的回收、医药和食品的精制纯化等等,淡化技术在这些生产部门，正获得日益广泛的应用；

• 淡水生产还可以和工业废热利用、剩余电力利用相结合,使能量达到合理有效的利用。

(二)海水淡化的主要方法

海水淡化方法有 20 余种，现将主要的方法总结于表 1。

表 1　　海水淡化方法

方法类别		
从海水中分离出水	蒸馏法 1. 竖管蒸馏　2. 多级闪急蒸馏 3. 蒸汽压缩蒸馏　4. 太阳能蒸馏	
	冷冻法 1. 蒸汽压缩式冷冻法　2. 蒸汽吸收式冷冻法 3. 冷媒直接接触冷冻法	结晶法
	水合物法	结晶法
	溶剂萃取法	
	反渗透法	膜法
从海水中分离出盐	电渗析法	膜法
	离子交换法	

1.蒸馏法

蒸馏法是将海水加热汽化，再使蒸汽冷凝而得淡水。根据所用能源及流程、设备不同,又可分为以下四种主要形式：

(1) 竖管蒸馏(LTV－D) 流程如图 1 所示。将多个蒸发器串连,原料海水进入第一蒸发器,由加热蒸汽间接加热,产生的蒸汽称为二次蒸汽,引入下一蒸发器作为加热蒸汽使用,浓海

http://bbs.3s001.com/

水也依次进入下一蒸发器进行蒸发。串联蒸发器的个数称为效数,最末一效与减压系统相连,以保证浓海水沸点由首效至末效逐效降低，从而实现前一效中二次蒸汽对后一效浓海水的加热作用。自二效以后,各效的冷凝水即为产品淡水。竖管蒸馏的优点是热利用效率高,缺点是锅垢危害严重、设备费用较高。

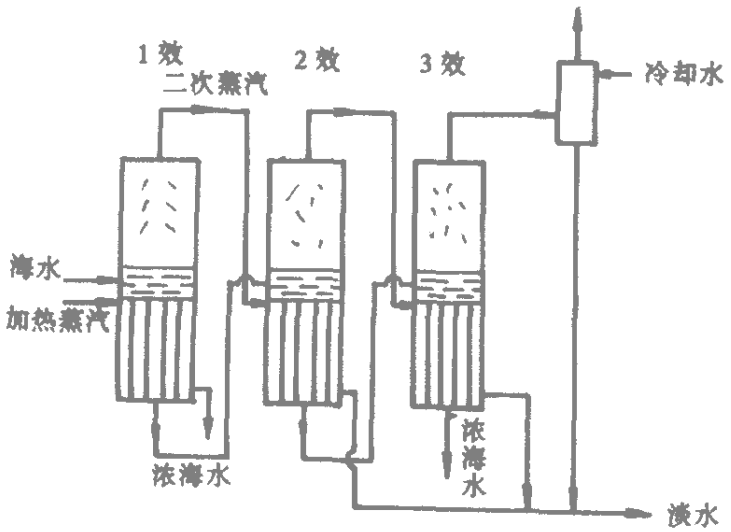


图 1　竖管蒸馏流程

(2) 蒸汽压缩蒸馏(VC-D) 原理如图 2 所示。海水先经预热,至蒸发器中受热汽化,产生的二次蒸汽经压缩后,又返回蒸发器夹套冷凝，这样就供给了过程所需热量。这种方法的特点是除开工之初需辅助热源产生蒸汽启动外，不需要外部热源。蒸汽压缩蒸馏的优点是热功效率高，缺点也是锅垢危害严重。

http://bbs.3s001.com/

（3）多级闪急蒸馏（MSF－D）流程如图 3 所示。海水先经加热，然后引至一个压力较低的设备中使之骤然蒸发，依次再进入压力更低的一级骤然蒸发，产生的蒸汽在海水预热管外冷凝而得淡水。方法的特点是加热与蒸发过程分离，结垢较轻,设备构造较简单,设备费用较低，特别适合于大规模生产。缺点是盐水循环量大,操作费用较高。

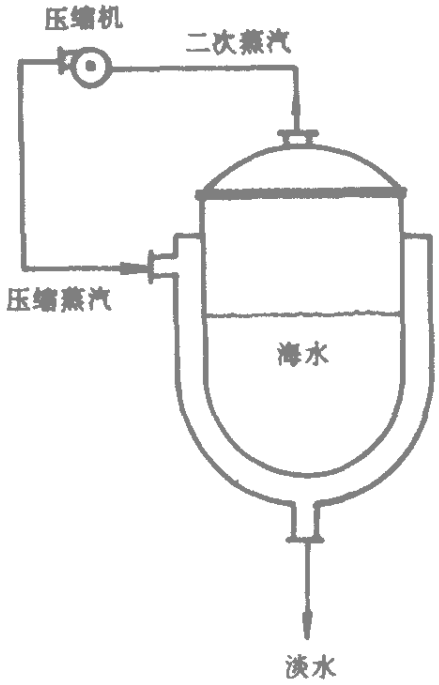


图 2　蒸汽压缩蒸馏原理

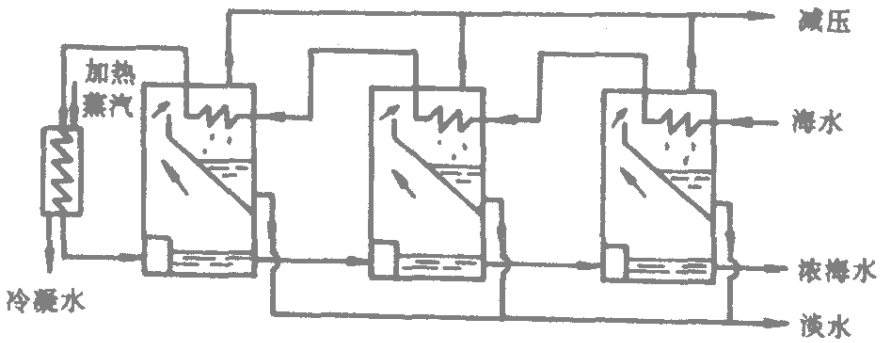


图 3　多级闪急蒸馏流程

（4）太阳能蒸馏（S－D）利用太阳的辐射热能加热海水进行淡化,原理如图 4 所示。为增加吸热效率,盛海水的底盘涂成黑色，产生的蒸汽在透明度较高的玻璃板或塑料薄膜上冷凝而得淡水。太阳能蒸馏是最古老的海水淡化方法，其优点是不消

http://bbs.3s001.com/

耗外加能量,操作费用最省,设备也很简单。缺点是装置占地面积大，受地区及气候条件影响，单位面积淡水产量低。根据计算,每米^2 设备淡水的产率不大于 2 千克／小时。此法适用于气温高、日照时间长的缺水地区。也有以塑料薄膜制成的球状小型太阳能淡化器，可用于海上救生。太阳能蒸馏在我国已进行试验研究,并准备进一步扩大推广。

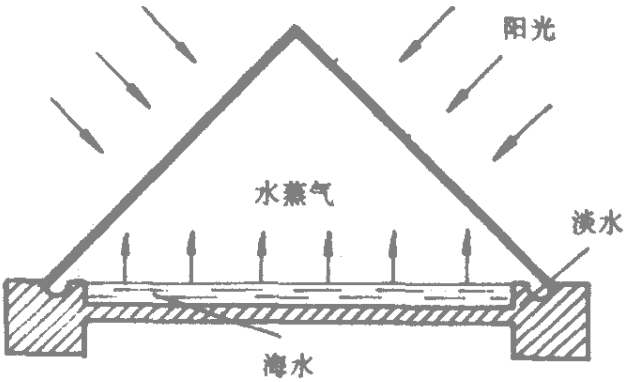


图 4　太阳能蒸馏原理

蒸馏法不受原水浓度限制，淡水纯度高（一般可达 $10\times10^{-6}\sim5\times10^{-6}$），在热源充足和有废热可资利用的场合最为适用。缺点是操作温度较高、引起腐蚀及锅垢严重。

2. 冷冻法

海水结冰时，只有纯水呈冰晶析出，盐则不随同析出，取冰融化，即得淡水。利用这一原理进行海水淡化的方法，即为冷冻法。

根据所用冷冻剂不同及对冷冻剂的处理方法不同，冷冻法又分为以下三种形式：

(1) 蒸汽压缩式真空冷冻法　原理如图 5 所示。海水预冷至 0 ℃左右后，喷入高真空冷冻室中，部分水汽化吸热，使剩余

http://bbs.3s001.com/

海水冷冻而析出冰晶（水本身即为冷冻剂）。形成的冰晶—盐水淤浆经分离洗涤后，除去冰晶表面附着及内部包藏的盐分，然后融化而得淡水。产生的蒸汽经压缩后进入融化器冷凝。冰融化和蒸汽冷凝所得淡水，一部分用作洗涤水，其余作为产品淡水放出。

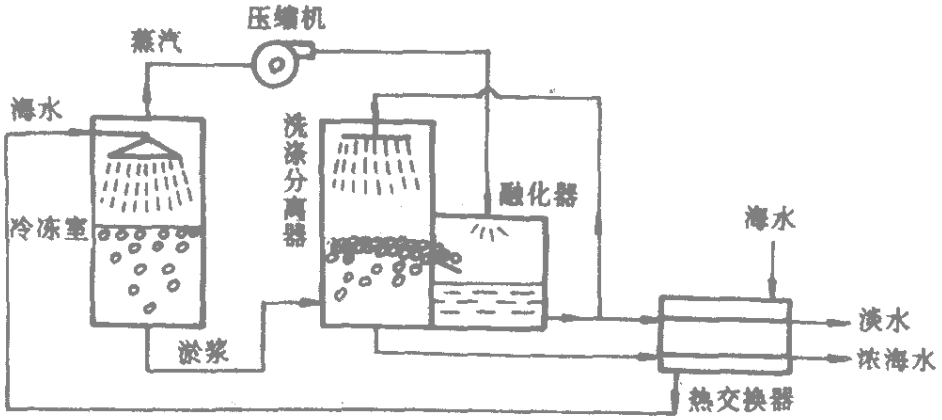


图 5　蒸汽压缩式真空冷冻法原理

（2）蒸汽吸收式真空冷冻法　原理如图 6 所示。以吸收剂吸收冷冻室产生的水蒸气，从而使海水不断汽化与冷冻结冰。稀释后的吸收剂经浓缩再生后循环使用。除以吸收系统代替压缩机外，其他与蒸汽压缩式冷冻法相同。

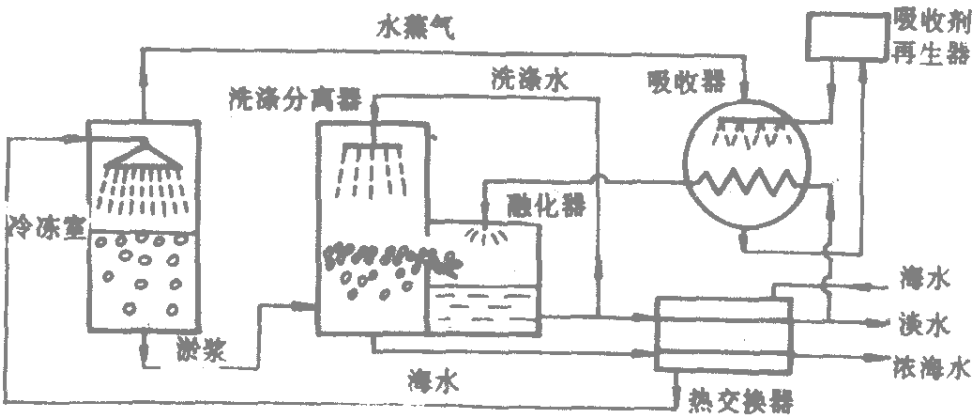


图 6　水蒸气吸收式真空冷冻法原理

http://bbs.3s001.com/

(3) 冷媒直接接触冷冻法　　原理如图 7 所示。以不溶于水、沸点接近于海水冰点的正丁烷为冷冻剂，与海水混合，预冷后进入冷冻室中。室内温度约 -3℃，压力稍低于大气压力，正丁烷便汽化吸热，使海水冷冻结冰。正丁烷蒸汽压缩至大气压力以上，进入融化器与冰直接接触，蒸汽液化，冰融化，形成的水一正丁烷不互溶体系，借密度不同而分离开，水作为产品放出，正丁烷在过程中循环使用。

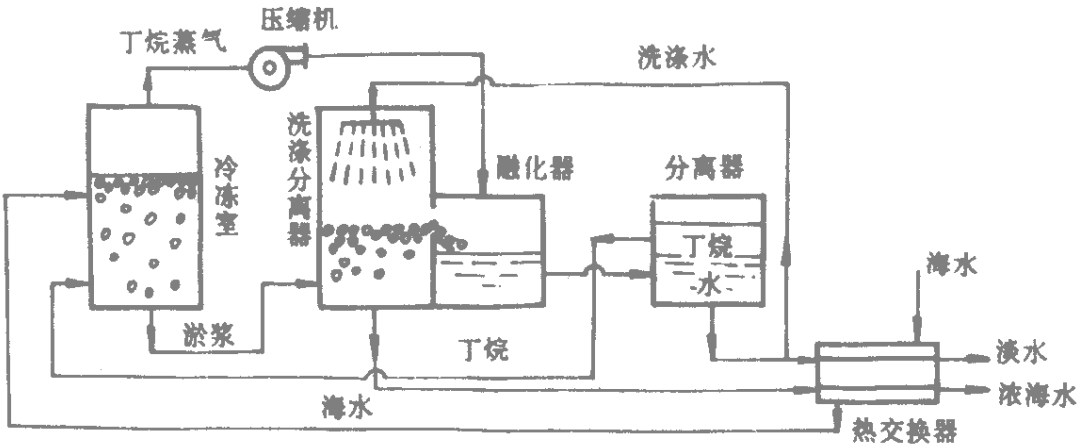


图 7　冷媒直接接触冷冻法原理

冷冻法的优点是结晶潜热较小，过程本身所需能量较少，操作温度低，结垢及腐蚀很轻。缺点是冰晶悬浮体输送、分离困难，操作技术要求高，冰晶洗涤也较困难，且需消耗部分产品淡水。

3. 电渗析法(E－M)

原理如图 8 所示。阴离子交换膜与阳离子交换膜相间排列，隔成多个区间，海水充满于间隔中，在外加直流电场作用下，阴、阳离子分别透过阴膜和阳膜，从而使这一区间海水淡化，而其相邻区间的海水被浓缩，淡水与盐水得以分离。

http://bbs.3s001.com/

电渗析法的特点是从海水中除去盐离子，能量转换方式合理。用于含盐量 0.5% 以下咸水的淡化，较其他所有淡化方法都经济。此法不能除去不带电荷的杂质，且经济效果随含盐量的增加而显著降低。目前已出现用于海水淡化的高温电渗析法，耗能量较低。

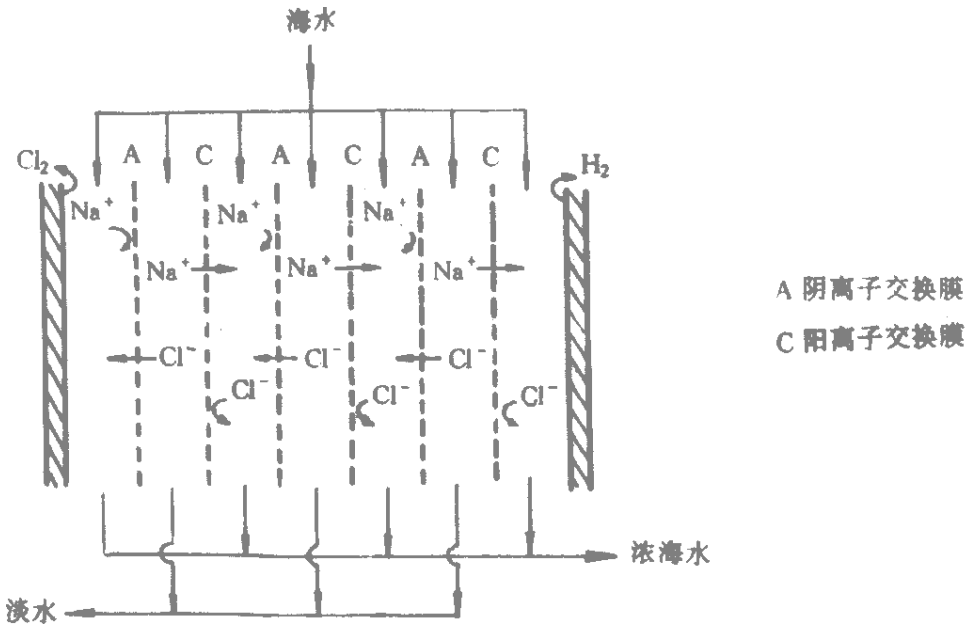


图 8　电渗析法原理

电渗析法的关键是离子交换膜。良好的离子交换膜应具有优良的选择透过性(即阴膜只允许阴离子透过,阳膜只允许阳离子透过)、优良的电化学性能、足够的机械强度及化学稳定性等。高温电渗析法中的膜还应具有耐高温的特性。

4. 反渗透法(RO 或 RO－M)

当海水与淡水以半透膜隔开时，淡水便会自动向海水一侧渗透，若于海水一侧施加大于海水渗透压(2.5 兆帕)的外压,则海水中的纯水将反渗透至淡水中，此即反渗透法淡化原理（图 9).

http://bbs.3s001.com/

反渗透法的特点是过程中没有水的相变化，所以能量耗费较少，而对有机杂质与不带电荷的杂质，同样能达到分离效果。但受高压操作和半透膜的性能限制,使单个淡化器产量不能太大，原水浓度不宜过高。

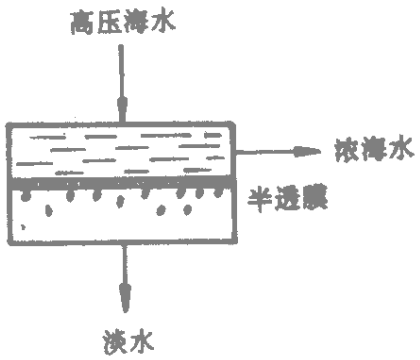


图 9　反渗透法原理

5. 溶剂萃取法

某些有机溶剂（如三乙胺等）在低温下能溶解一定量的水，而当温度升高时，又能将溶解的水分离出来。利用这一特性进行海水淡化的方法,称为溶剂萃取法。图 10 所示为溶剂萃取法的原理。海水与溶剂在萃取塔中逆流接触，然后经热交换器被蒸汽加热,在分离器中分离出水,溶剂循环使用。

溶剂萃取法的优点是操作温度接近室温,能量消耗较低,设备腐蚀轻。缺点是溶剂在水中有一定的溶解度，影响淡水水质，仅对于低含盐量的咸水选择性较好。此法的关键是寻找理想的萃取剂。

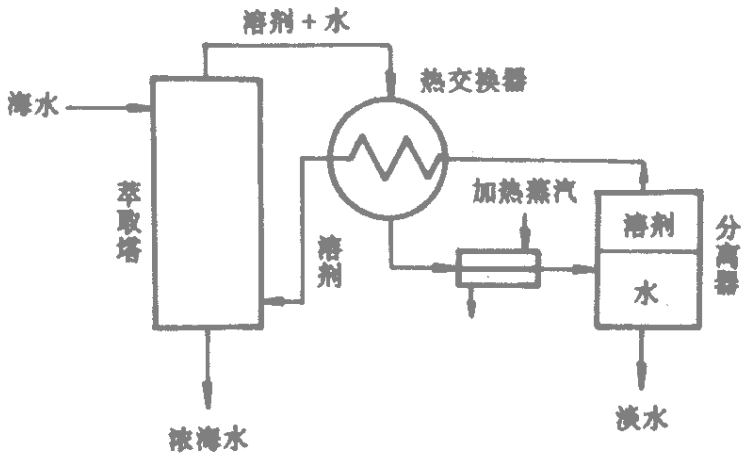


图 10　溶剂萃取法原理

http://bbs.3s001.com/

6. 水合物法

某些气体化合物(如丙烷等)与水不互溶,但在低温下能与水形成多分子的水合晶体（如 $C_3H_8 \cdot 17H_2O$)。利用这一特性进行海水淡化的方法,称为水合物法,图 11 所示为水合物法原理。预冷海水与液态丙烷在育晶槽中混合，在形成水合物的条件下，

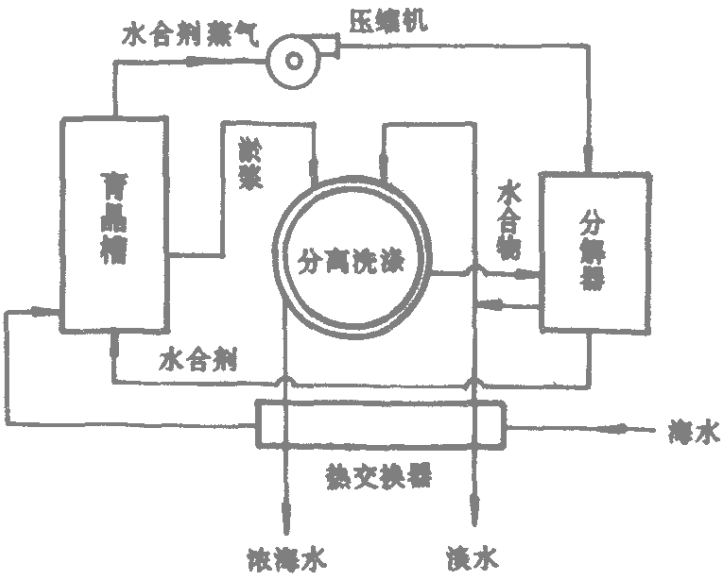


图 11　水合物法原理

形成含水合物晶体 10%～15% 的盐水淤浆,经分离、洗涤、融化而得淡水,丙烷循环使用。

水合物法的优点类似于冷冻法。缺点是结晶粒子小，分离、洗涤和输送较困难,淡化水质也较差。

7. 离子交换法(I－E 法）

利用离子交换树脂的活性基团,与盐水中的阴、阳离子进行交换而取得淡水的方法，称为离子交换法，原理如图 12 所示。盐水经过阳离子交换树脂后，阳离子被树脂中的 H^+ 取代,再经过阴离子交换树脂，则阴离子又被树脂中的（OH^- 取代。H^+ 与

http://bbs.3s001.com/

OH^- 结合成水，盐水中的盐则被除去。

盐水中的离子浓度越高，树脂的再生费用也越大。因此，对海水及浓度较高的咸水一般不用此法，而在低盐分的水处理和高纯度水的制备上则应用很广泛。

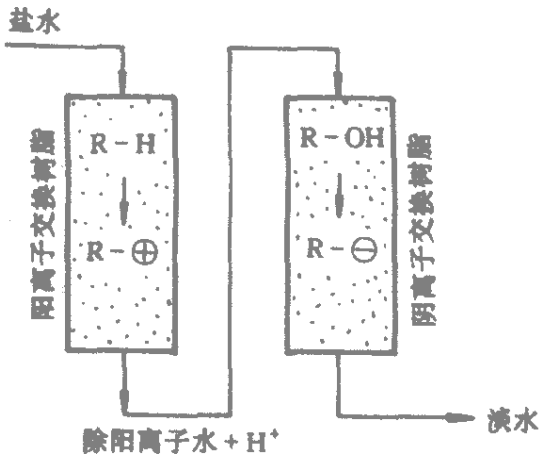


图 12　离子交换法原理

另有一种称为银式泡沸石的无机离子交换树脂，与海水混合后，能与其中钠、镁、钙、氯和硫酸根等主要离子结合，产生沉淀而分离出淡水。此法成本较高，仅作为制取少量应急用水的方法。

(三)海水淡化方法的比较

尽管有这么多的海水淡化方法，但实际应用的也就几种。原因是多方面的。所以，我们有必要了解为什么有些方法不容易在实际中应用，有些可以应用。

1. 能量特征

(1) 理论耗能量与实际耗能量　耗能量的大小，是评价各种淡化方法的主要指标。海水淡化的理论耗能量，不论何种淡化方法，只要始、终状态相同，理论耗能量都相等。一般情况下，其值在 1.41 千瓦时／吨以内。

海水淡化的实际耗能量远较理论值为大。到目前为止，各种淡化方法均大于 10 千瓦时／吨。多消耗的这部分能量，有的是必不可免的。例如：蒸馏法，由于受热功效率的限制，其最小实际耗能量起码要比理论耗能量高出 4 倍左右；电渗析法，过程中必然要伴随发生电极反应，消耗部分能量；还有，实际生产过

http://bbs.3s001.com/

程,必须有若干辅助工序(如海水预处理及浓、淡水输送等),这些过程所消耗的能量,也是必不可少的。因此,到任何时候,也不能使实际耗能量与理论耗能量完全相等。

实际过程多消耗的另一部分能量则与技术条件有关，例如：多效蒸发比单效蒸发耗热量省；多级闪蒸比单级闪蒸耗热量省。减少这一部分能量消耗的措施，一是实现能量的充分、有效利用,二是使设备配套合理,选择最佳工艺条件。这部分多消耗的能量,将随着技术水平的提高而相应降低。所以,淡化成本的进一步下降还是大有希望的。

在比较各种淡化方法的实际耗能量时可以发现，耗能量大小与能量转换幅度之间具有一定的规律。这规律大体是：热能直接利用比转换成电能使用有利；不经相变化的比经相变化的耗能量少；相变潜热小的又比相变潜热大的耗能量少。

离子交换法、电渗析法和反渗透法的过程中没有相的变化，能量转换幅度小，故耗能量较小。离子交换法由于树脂再生需消耗大量酸、碱,使其应用受到一定限制,否则将是实际耗能量最小的一种方法。电渗析法和反渗透法的经济效果取决于膜的性能，由于电渗析过程中的电极反应及克服电阻等耗能因素较多,二者相比,反渗透法的耗能量又较小一些。

蒸馏法、结晶法和溶剂萃取法淡化过程中都有相的变化,耗能量较大。但三者的相变潜热不同，故实际耗能量也不相同。溶剂萃取法是液一液相之间的相变化,溶解的热效应小,操作温度又在室温附近,能量转换幅度较小,故耗能量也较小。蒸馏法的汽化潜热大,操作温度变化幅度大,且热量回收较难完全,故能量损耗的机会较多，耗能量就最大。结晶法是固一液之间的相变化，耗能情况介于萃取法与蒸馏法之间。

http://bbs.3s001.com/

淡化所需的能量形式为热能和电能两种。除蒸馏法是直接利用热能外，大多数淡化方法都使用电能。热能转换成电能的效率约 30%。蒸馏法避免了能量转换过程的损耗，因而较为有利。这是蒸馏法的独特优点，也是蒸馏法目前获得大规模应用的重要原因。

表 2 列出了各种淡化方法所需能量情况。

表 2　　各种淡化方法所需能量

方　法	使用能源形式**	生产 1 吨淡水所需能量			
		1964 年		1980 年	
		10^3 千焦	千瓦时	10^3 千焦	千瓦时
多级闪急蒸馏	热	284.2	79	167.2	46
竖管蒸馏	热	284.2	79	167.2	46
蒸汽压缩蒸馏	电	167.2	46	100.3	28
冷冻法	电	167.2	46	100.3	28
电渗析法*	电	26.4	6.4	13.8	3.8
反渗透法	电	46.0	12.8	28.4	7.9
水合物法	电	167.2	46	100.3	28

* 原水盐的浓度低于 0.5%.

** 电力按发电效率 33% 进行换算。

在讨论能量消耗问题时，常有两种错误观点：一种是把相变潜热的大小作为方法耗能量大小的度量标准；另一种观点是认为海水中盐比水少，除去盐应该比取出水耗能量小。

持第一种观点的人，常常把蒸馏法当作耗能量最大的典型。因为水的汽化潜热最大，而萃取法中溶剂的溶解热大约只有水的汽化潜热的 1/24，故而就简单断言：萃取法的耗能量只有蒸馏法的 1/24。

诚然，如上所述，水的汽化潜热是较大，蒸馏过程中能量转换幅度大，耗能量较大，但蒸馏法是直接利用热能，其方法本身

http://bbs.3s001.com/

已采取措施，实现热量的多次重复利用，所以两方法的实际耗能量,无论如何相差不到 24 倍。理论耗能量更是相差无几，甚至完全相等。

海水中盐与水是组成均一的溶液体系，虽然含盐量远小于水量,但从海水中取出水,必须克服盐的作用力 而取出盐,也必须克服水的作用力。前已述及，淡化过程的理论耗能量，仅与始、终状态有关,只要始、终状态相同,理论耗能量必然相等。

若果真取出水比取出盐消耗能量多，则反过来，将水加到盐中，也就要比盐加到水中放出的能量多，这样一来，就可以从海水中取出盐，再将水加到盐中，组成一个循环，从而凭空获得能量。显然，这是违背能量守恒定律的，是实际上不存在的。

再者,从海水中取出淡水,只是取出 96.5% 淡水中的 60% 左右，而从海水中取盐，则要使本来只有 3.5% 的盐,降到 0.05%以下，即使直观想象，后者也不会比前者容易。

(2）装置规模与产水速度对耗能量的影响　同一淡化方法，随着规模的扩大，耗能量可相应降低。因规模扩大以后，有可能建立最佳工艺条件，能量可能得到充分有效的利用，辅助设备费用也可相对减少。对于某些淡化方法，除装置规模与耗能量之外，还与淡水生产速度有关。同一设备，如产水量降低，则能量消耗也相应降低。所以，在比较淡化方法的耗能量指标时，应当同时结合装置规模及单位设备的产水量一起考虑才较合理。

(3) 原水温度对耗能量的影响　随着原水温度的升高，理论耗能量增加。温度每升高 30℃ ,理论耗能量约增加 1/10,即增加约 0.15 千瓦时／吨。但是实际上,不同的淡化方法,原水温度对耗能量的影响各不相同。蒸馏法产水耗能量随原水温度升

http://bbs.3s001.com/

高的增加比理论计算值为大，这是由于热交换效果随原水温度的升高而有所降低之故。

但在电渗析法及反渗透法中，总耗能量则随原水温度的升高而下降。根据电渗析法试验结果，当水温由 30℃升至 50℃时,耗能量减少 40％ 当水温升至 70℃时,耗能量可减少 60％。这是由于温度升高,原水的电导迅速增加,为克服阻力而消耗的能量就相应下降。而能量的降低部分，超过理论耗能量的增加值,所以过程的总耗能量减少。同样,在反渗透法中,由于温度升高,粘度下降,所以实际耗能量也随温度的升高而减少。

(4) 环境的能源条件　目前各种淡化方法的淡水成本均高于自来水费用，其主要原因是由于操作费用较高，能源费用较高。所以,环境的能源条件对淡水费用有很大影响。例如 在有废热、废可燃气体可资利用的地区,采用蒸馏法,则淡水费用就可显著下降 而随着原子能发电的发展,发电与淡化相结合,则淡水费用有可能接近甚至低于自来水费用。

除蒸馏法直接利用热能外,废可燃气体、锅炉废热、温泉热等廉价热源还可用于提高水温,以减少电渗析法、反渗透法的耗能量,从而降低淡水成本。

此外,在电力充裕或深夜电力过剩的地区,则可采用电渗析法、反渗透法、压缩蒸馏法及结晶法等。在日光强烈且场地宽广的地区，则可采用太阳能蒸馏法。

2.原水浓度

用作淡化的水源大致有三种，即含盐量为 0.05％左右的自来水、含盐量为 0.1％～0.5％的咸水及含盐量为 3.5％左右的海水。三者含盐量不同，淡化所需的能量也不同。通常耗能量随原水浓度的提高而增加，但各方法对原水浓度变化的敏感程

http://bbs.3s001.com/

度差别却很大。

对于蒸馏法及结晶法而言,由于浓度的变化对蒸发热、融化热、沸点与冰点的影响都不明显，所以操作过程的条件改变不大，耗能量随浓度变化也不大，即原水浓度对耗能量的影响较小。

电渗析法是利用电场除去离子，耗电量随原水的浓度升高而增加。例如 以海水做原水时,本体耗电 10～15 千瓦时／吨；而以含盐量为 0.35％咸水做原水时,则本体耗电仅为 1.0～1.5 千瓦时／吨。

对于反渗透法,由于原水浓度直接决定渗透压数值,且膜的脱盐性能也受原水浓度的影响，故耗能量随原水的浓度增加而增大。在操作压力一定的条件下，原水浓度增加，淡水产量减少。

电渗析法与反渗透法的耗能量，虽都随着原水浓度降低而减少，但二者的影响程度还有不同。在原水浓度低于 0.35％时,电渗析法费用较低 而高于 0.35％时,反渗透法的费用则较低。至于成本与产水量的关系，二者变化规律相仿。

由于电渗析法对低浓度原水淡化有更好的经济效果，所以已被普便应用于咸水淡化中，但是却不应为此排除其在海水淡化中的应用。根据现有试验结果,小规模电渗析法海水淡化,本体耗电量 10～15 千瓦时／吨,其耗能量尚低于其他淡化方法,如采用高温电渗析法,则耗能量还能降低。此外,电渗析法比其他方法水的收率高（在咸水淡化中，水的收率可达 80％～95％),这就可减少流体输送和原水预处理的费用。因此，电渗析法不仅适用于咸水淡化，在海水淡化中亦有其重要地位。

溶剂萃取法因原水浓度高会影响萃取性能，故一般应用于

http://bbs.3s001.com/

0.2%～1%的咸水。

离子交换法因受树脂的交换容量的限制，原水含盐量高时，可处理的水量就下降，且再生费用增加，故适用于由 0.1% 以下的原水制取纯水。

表 3 为各种淡化方法适用的浓度范围。

表 3　　各种淡化方法适用的浓度范围

方法	适用的浓度范围（%）						
	原水浓度				淡水浓度		
	>1	1～0.1	0.1～0.05	<0.05	<0.05	<0.01	<0.001
蒸馏法	○————	————	————	————	————	————	———*○
结晶法	○————	————	————	————	————	———○	
电渗析法		○————	————	————	————	———○	
反渗透法			○————	————	————	———○	
溶剂萃取法		○————	————	————	————	———○	
离子交换法			**————	————	○————	————	———○

*技术成熟。

**该技术在开发中，经济上是有希望的。

3.淡化水质

各种淡化方法淡化的适宜水质情况见表 3。

蒸馏法是经过蒸汽冷凝产生淡水的过程，淡化后水纯度很高，一般含盐量在 0.0005%～0.001%，有的可达 0.0001%，适合作为锅炉用水及其他纯水使用。如要当作饮用水，为了健康的缘故，还需掺合适量的海水或天然水。

结晶法虽然也是异相分离，但因过程中冰与浓海水混为一体，使冰晶分离、洗涤不易完全，故含盐量仍较高。若要提高水质，必须增加洗涤水用量，影响淡水产量，故一般以制取 0.05%

http://bbs.3s001.com/

-0.02%的淡水为宜。

反渗透法的淡水纯度直接受膜性能的影响，膜的性能好，透过水的纯度就高，但产量一般要降低。利用多级装置能降低淡水的含盐量，但耗能量增加。一般所产淡水纯度为 0.05%～0.03%。如果用 0.05%左右的淡水做原水，则反渗透法也可制造纯水，并已有实际应用。

电渗析法也以制取 0.05% 左右的饮用水较合适。淡水的纯度提高，膜两侧的浓差增大，耗电量就增加。如果两侧的浓度相差到一定极限，进一步淡化就有困难。例如：当浓水层的含盐量提高到 12%以上时,要取得含盐量 0.04% 以下的淡水,就较困难。所以，淡化水质对耗电量的影响也较大。如果以 0.05% 左右的淡水为原水，则电渗析法也可用以制取较纯的锅炉、试剂用水。例如:含盐量在0.03%～0.06%的地下水,经一次电渗析淡化后,即得 0.004%～0.005% 的较纯水,而本体的耗电量约为 1 千瓦时／吨，成本低于离子交换法，这是电渗析法目前扩大应用的一个方面。

离子交换法制备的淡水，纯度可以很高，但原水浓度必须较低，一般不超过万分之几。

4.装置规模

蒸馏法具有大规模生产的优点，尤其是多级闪急蒸馏，是目前大型化装置普遍采用的方法。

冷冻法与蒸汽压缩蒸馏法等由于使用压缩机，装置规模受压缩机容量的限制，一般以日产几千吨淡水以下的规模较适宜。

电渗析法与反渗透法淡化装置的本体不能过于按比例加以放大，但可使多台组合使用，且可发挥较大的操作弹性。

船用淡化装置以蒸馏法较多，其次是电渗析法。

http://bbs.3s001.com/

(四)海水淡化的技术进步

到 2000 年，中国水资源短缺量可能超过 10^{11} 米^3。沿海地区经济发达、人口众多，也是用水量最大的地区。“把我们拥有的水，变成我们需要的水”，海水淡化已成为解决水资源短缺的重要途径，目前在实际应用的淡化技术中，电渗析、反渗透及太阳能淡化技术得到了很大发展。

据报道，至 1993 年，全世界每天用反渗透法淡化海水 120 万米^3，每天用反渗透法和电渗析法淡化苦咸水分别为 500 万米^3 和 107 万米^3。目前，世界上规模最大的反渗透法海水淡化工厂建厂沙特，该淡化厂每天产水 20 万米^3。随着反渗透膜性能的提高和海水淡化工艺的进步，从海水获取 1 米^3 淡水能耗下降到 5.9 千瓦时，反渗透法已成为海水淡化的一个经济造水技术。

国家海洋局杭州水处理技术研究开发中心于 1989 年将西沙永兴岛海水淡化站由日产 200 米^3 淡水扩大为日产 400 米^3 淡水。目前舟山嵊山岛也有了日产 500 米^3 淡水的反渗透海水淡化站。

海水淡化能够缓解沿海地区淡水资源紧缺的矛盾。但海水淡化投资大，成本高，始终制约着这一技术大规模推广应用。

从一般意义上讲，目前在国内建设一个日产万吨淡水的海水淡化工厂，投资在 1.7 亿元人民币左右，产水成本每吨 7 元，一般情况下难以接受。因此，世界上也只有中东地区如沙特、科威特、阿联酋等无水可供、又有丰富的石油资源的国家，海水淡化才得以大规模推广应用。在国内，只有那些严重缺水地区，其他手段供水投资其水价更高的情况下，海水淡化开始被应用，如新疆塔克拉玛干沙漠油田地区（有丰富的地下苦咸水，其含盐浓

http://bbs.3s001.com/

度有的甚至超过海水)以及西沙、舟山、长山岛等岛屿。然而,后者在严重缺水的同时，能源供应也比较困难，这就使这些地区的海水淡化发展仍很缓慢，故有必要大力加强太阳能海水淡化及风能发电海水淡化的应用研究。

近年来，随着生活水平的提高，对饮用水水质要求也越来越高，现已普遍倾向于饮用水水质要求也越来越高，现已普遍倾向于饮用纯净水。建设部正在若干城市试点，建立双管路供水系统,将自来水经专门处理,如反渗透、超滤、微滤等达到‘纯净’要求，再由专门的供水管路送至用户。显然，对于本来就严重缺水淡水的北方沿海城市，如利用蒸馏海水淡化，一次将海水脱盐达到总含盐量 0.0005% 的水平,直接可供居民作‘纯净’水饮用，不失为一举两得的选择。

国际海水淡化技术界正在为进一步降低海水淡化成本而努力。以色列和美国的技术人员拟在南加利福尼亚建设一个大型多效蒸馏海水淡化试验装置，其规模为每日产水 28.4 万吨,目标成本为 0.49 美元／吨。显然,如能实现此目标,将使海水淡化成本降低一半以上。一方面淡化资源日益紧缺，另一方面，随着技术进步，海水淡化产水成本不断降低，这就决定了海水淡化在不远的将来会有大规模的发展。

在太阳能淡化海水技术方面，几乎每年都有新的技术问世。

法国南锡化学工程实验室的化学家皮埃利戈夫，经过不断的失败和挫折，终于研究成功一种结构简单、使用方便的太阳能淡化海水的新装置，实现了海水淡化不需要再花钱购买能源。

在海湾地区，尽管海水取之不尽，但几乎每个海湾国家都缺少淡水。虽然许多国家都建有海水淡化工厂，但费用昂贵。这些海水淡化工厂大多采用蒸馏方法淡化海水，即将海水煮沸，使

http://bbs.3s001.com/

其中的水分蒸发，然后变成蒸馏水。这种方法需要消耗大量能源。所幸的是海湾国家有丰富的石油，采用蒸馏法淡化海水并不存在能源困难。

在 1991 年的海湾战争中，伊拉克军队在撤离科威特之前，破坏了科威特的大部分海水淡化工厂，使科威特陷入了无淡水饮用的恐慌之中。战争给人们留下的灾难，触动了科学家的同情心，皮埃利戈夫便是其中之一。他决心研制出简单、耐用、方便、廉价，任何农村工匠和海岛渔民只要稍加指点就会使用和维护的海水淡化装置，这就是用太阳能淡化海水的新装置。

如今，皮埃利戈夫所设计的一种非常小巧轻便的用太阳能淡化海水的新装置已经获得成功，这种新装置的结构并不复杂。它有一个盛海水或咸水的桶，桶里的水靠自身的重力向下流到几块细纱布上，细纱布悬挂在 6 块彼此垂直、相隔 4 厘米安放的铝板旁边，太阳光透过透明的聚乙烯塑料板照射到铝板上。为了更有效地利用阳光，还有一面可调整角度的反射镜，使阳光垂直照射铝板。这样，第一块铝板可被阳光加热到 94℃。于是，在这块铝板旁边悬挂的细纱布上的海水很快就被蒸发成水蒸气。当水蒸气穿过 4 厘米的间隔遇到第二块铝板时，就会冷凝成水滴。其冷凝水滴释放的热量，又会加热这块铝板本身，使第二块铝板温度低于第一块被太阳直接加热的铝板。第二块铝板又使悬挂在它旁边的细纱布上的海水蒸发，所得到的冷凝蒸馏水的温度为 45℃。在这种新装置的底部，有一个蒸馏水收集容器，6 块铝板上的冷凝水都会滴落到这个收集容器内，供人们饮用。根据试验，这个像小型温室的海水淡化新装置，每天每平方米太阳能收集器可生产 20 升蒸馏水。一个普通的单水桶太阳能蒸馏器，一天可以产 2.5～3 升蒸馏水

http://bbs.3s001.com/

尽管这种太阳能淡化海水新装置是为海湾地区设计的，但也适合偏远、贫困而又干旱的地区淡化海水,具有较为广阔的应用前景。

二、最重要、最基础的化工原料——海盐的生产

食盐是基础化学工业中的纯碱、烧碱和盐酸的基本原料，生产化学肥料氯化铵也离不了食盐。有机合成产品如聚氯乙烯、氯丁橡胶等所需要的氯，也来源于食盐。总之，凡是化学工业中用到钠或氯的产品，绝大多数都来源于食盐。此外在肥皂工业、矿业、钢铁工业、皮革业、陶瓷业以致农业上,食盐也都有很大用途。

海水中溶解的食盐是非常丰富的，其总量约为 4×10^{16} 吨。现在全世界约有 60 个国家以工业规模由海水生产食盐，另有 30 个国家也小量地生产。实际上，每个临海国家都在生产食盐。但每年全世界提取的食盐总量还不到 10^9 米^3 海水中的含量，所以海水中的食盐是用不完的。

目前全世界每年从海水中生产食盐上亿吨，主要是用太阳能蒸发法、电渗析法和冷冻法这三种方法生产的，其中大部分是以太阳能蒸发法制得，但电渗析法今后也会有更广泛的前途。

(一)太阳能蒸发法(盐田法)

这是很古老的方法，沿海居民很早就用这种方法从海水中生产食盐，并且一直沿用到今天。

它的原理很简单，即：海水受热，水分逐渐蒸发，盐浓度渐高，各种盐类即可渐次析出。表 4 所列的数据,是意大利化学家犹西克力奥在法国塞特港用地中海的海水进行的蒸发实验，所

http://bbs.3s001.com/

得出的盐类析出的规律，是指导海盐生产的基本资料。

海水经蒸发浓缩就是卤水。卤水的密度在 1～1.25 吨／米^3 之间。目前在盐业上多用波美度来表示卤水的含盐量。 1 波美度即表示卤水的含盐量为 1%。

从表 4 中看出，第二栏第一行的数字是开始蒸发时的海水，体积为 1 升，3.5 波美度，相当于普通大洋水的含盐量(3.5%)，以下随着水分减少，各种盐类便依次析出。

当海水蒸发掉约 90% 的水分，达到 26.25 波美度时，食盐才开始析出，同时还有氧化铁、碳酸钙和硫酸钙析出。到 28.50 波美度时，析出 70% 左右的食盐。以后继续而缓慢地析出，到 30.2 波美度时能析出总量的 78.9% 。食盐开始析出以后，就有少量的硫酸镁和氯化镁析出，后来还有少量的溴化钠析出，这些物质是食盐中的杂质，要适当加以控制。

1. 纳潮

纳潮就是把含盐量高的海水积存于水池内。海水是晒盐的原料，当然以含盐高的海水质量为最好。而海水中的含盐量受到很多因素的影响。例如：降雨量大，盐度就降低，河口附近的海水盐度也低；洪水季节海水会被冲淡，而干旱季节冲淡就较轻 在蒸发量大的地区，如冬季的黄、渤海地区，因西北风加速海水蒸发，海水含盐量就高；海水结冰会增大盐度，融冰时则减小盐度；海水运动对海水盐度也有影响，潮汐可以把外海高盐度海水带进港湾里来；而海水上层一般盐度又比下层为小。

由于地球自转的影响，北半球的潮流向右转，故我国沿海地区的涨潮流进入港湾以后，偏向其流向的右边。这样，在涨潮时，潮流右侧的海水是从外海来的，水位高，盐度大 而潮流左侧的海水，渗杂有在港汊停留的海水，它的盐度较低。同样，北半

表 4　　海水浓缩过程中的沉积顺序

含盐量（波美度）	体积（升）	沉积盐类（克）							
		Fe_2O_3	$CaCO_3$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	NaCl	$MgSO_4$	$MgCl_2$	NaBr	合　计
3.50	1.000								
7.10	0.533	0.0030	0.0642						0.0672
11.50	0.316	–	微						微
14.00	0.245		微						微
16.75	0.190		0.0530	0.5600					0.6130
20.60	0.1445			0.5620					0.5260
22.00	0.131			0.1840					0.1840
25.00	0.112			0.1600					0.1600
26.25	0.095			0.0508	3.2614	0.0046	0.0078		3.3240
27.00	0.064			0.1476	9.6500	0.0130	0.0356		9.8462
28.50	0.034			0.0700	7.8940	0.0262	0.0134	0.0728	8.1084
30.20	0.0302			0.0144	2.6240	0.0174	0.0150	0.0358	2.7066
32.40	0.023				1.4040	0.5382	0.0274	0.0620	2.3732
35.00	0.0162				1.4040	0.5382	0.0274	0.0620	2.0316
	总计	0.0030	0.1172	1.7488	27.1074	0.6242	0.1532	0.2224	29.9762

* KCl 一直存在于卤水中。

http://bbs.3s001.com/

http://bbs.3s001.com/

球的河流流入海港后，偏向河流流向的右边，例如海河的淡水由西向东流入渤海湾，由于在流出的过程中偏向右边，使海河南岸大沽盐场附近的海水混进了大量的淡水，致使海水含盐量被冲淡。此外，在涨潮时，一般潮头的盐度大些，因为潮头溶解着较多的海滩中的盐分。

各种海流的含盐量亦不同。例如：暖流的盐度高，我国台湾近岸的海水盐度大，就是这个原因；寒流海水的盐度低，它所经过的海区盐度也随之降低；上升流又可把海底盐度高的海水带到海面，增加表层海水盐度，如我国海南岛南部有上升流，造成了海南岛三亚等盐厂的优越条件。

2.制卤

制卤就是让海水经过一系列的蒸发池,蒸发到‘食盐’点,接近 26 波美度,此时的食盐水就是卤水,也叫‘泡腌’母液。根据表 4 所列的沉积顺序，这时全部氧化铁及少量的碳酸钙和部分硫酸钙就会结晶沉淀出来，为生产食盐除去了部分杂质。到了食盐点，海水体积已减少了 90％，随后就把它转移到结晶池中去，这种制卤的方法是平面蒸发法。

现在采用的立体蒸发制卤的型式是垂网架，网一般用聚氯乙烯制成，它垂直挂在竹木搭设的架子上，卤水自架子上的卤水槽流下，沿网丝降落，同样扩大了卤水与空气的接触面积，促进卤水蒸发。

3.结晶

结晶包括灌池、加卤和换卤。到了食盐点，把饱和卤水转移到结晶池，叫做灌池。卤水在结晶池中继续蒸发，食盐就结晶，并沉积在结晶池的池底。在食盐结晶过程中，有一些硫酸钙也结晶出来，但所有的镁盐和钾盐仍继续留在溶液中。浓缩的实

http://bbs.3s001.com/

际限度是 29 波美度,这时,镁盐结晶成为可能,这样势必降低食盐的纯度。29 波美度的卤水叫苦卤，它含有几乎全部的镁盐和钾盐。这些苦卤经过处理,可以回收镁盐、钾盐、芒硝和溴。

随着蒸发和食盐的不断结晶，结晶池中的卤水逐渐减少，浓度也随之提高。为了持续晒制，则须保持卤水的一定深度，向结晶池中补充饱和卤水，就叫做加卤。析出食盐结晶后的卤水，浓度逐渐提高,杂质增多,所以当卤水达 28.5 波美度或超过这一指标时，应另换新卤水继续晒制，这就叫换卤。

由太阳能蒸发制出盐结晶以后，就是采盐、贮运和加强保管了。

太阳能蒸发法制盐，气象条件很重要。在一些地区可能全年制盐，而在另一些地区，可能是季节性的制盐。蒸发量与气温、日照时间、风向风力、温度等都有关系。这些因素结合在一起，如能使净蒸发量较大，生产量就能很高。在干燥、热带地区，净蒸发速率可达 360 厘米／年,对晒盐十分有利。如果蒸发速率为 100～200 厘米／年，晒盐的条件就很差了。

人工促进蒸发的方法之一，就是应用萘酚绿 B 等颜料以增加辐射能的吸收。如果把萘酚绿 B 溶解在结晶池中，其浓度达到 5×10^{-6},那么就可以使盐增产 15%～20%。

(二)电渗析法(膜法)

历史上，日本也是用太阳能蒸发海水的方法来生产食盐的，但由于温度和降雨条件不利，不适于直接用此法生产，所以近 20 年来，日本主要用电渗析法生产食盐，年产量超过 26 万吨，约为日本全国所用食盐的 1/4。

电渗析法制盐原理已在海水淡化部分作了介绍。电渗析法制盐与盐田法不同，它是利用电力使海水中的氯化钠浓缩。与

http://bbs.3s001.com/

盐田法比较，它的优点是：不受自然条件影响，一年四季均可生产；占地面积小，生产 15 万吨盐，盐田法约占地 500 公顷，而它仅需 20～23 公顷地面即可建成全套设备；节省劳动力，常备人员只相当于盐田法的 1/10～1/20；基建投资少，生产每吨盐的基本投资约为盐田法的 1/5；卤水的纯度和浓度均高，盐田法平均浓度为 13～14 波美度，电渗析法可达 19 波美度，纯度的比较见表 5。此外，电渗析法易于实现自动化，维修简便。

表 5　　盐田法卤水和电渗析法卤水组成的比较　　（单位 克／升）

盐类	$CaSO_4$	$CaCl_2$	$MgCl_2$	$MgSO_4$	KCl	NaCl
盐田法卤水	2	–	17	11	4	128
电渗析法卤水	1	5	15	–	8	190～200

（三）冷冻法

缓慢地把海水冷却到海水的冰点（－1.8℃），就形成比较纯净的冰。对海水淡化来说，把冰晶分开就得到了淡水，而对制盐来说，去掉冰，其效果就等于晒盐法中的水分蒸发。这就是冷冻法制卤的基本原理。

海水具有复杂的成分，在冷冻的过程中所发生的变化也较为复杂，在不同的温度，会有不同的物质结晶出来。根据冷冻实验，当温度为－1.8℃时，大洋海水开始结冰 到 －7.3℃时，芒硝与以上几种固相析出 到 －22.4℃时，二水氯化钠与以上几种固相共同析出。如果在 －22.4℃之前将液相与固相分开，就可以得到纯净的氯化纳结晶。如冷却到 －34℃，氯化钙即可析出 在更低的温度下，还会有氯化镁析出；－60℃时，母液全部结冰。

海水或卤水结冰时，液温只要不降低到氯化钠的结晶温度，

http://bbs.3s001.com/

冰中就不应含有氯化钠,但事实上并不如此,冰中还是含有氯化钠的,这是与海冰的结构有关。

海冰除纯水结成的冰晶外,会有盐水泡存在的(图 13)。盐水泡中含有盐水，其所含盐分的多少在很大程度上决定于冰的结构。结冰的过程越平静、越缓慢，冰在卤水表面停留时间越长,其结构就越紧密,冰晶中的孔隙即盐泡就越少,因而被带走的卤水也就越少。当温度降到 −7.3℃以下，除了纯水结晶以

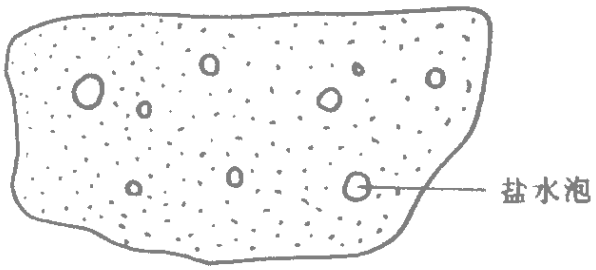


图 13　海冰结构剖面示意图

外，还有芒硝析出。因此，控制好温度和冷却速度，就能用上述冷冻法生产出合乎要求的卤水，这些卤水经过进一步处理，就可以得到食盐。

我国的海岸线很长，北起鸭绿江口，南到北部湾的北仑河口,不包括岛屿,长达 18 000 千米。沿海多是沙岸，海滩平坦辽阔，有大量的土地可以开辟为盐田。沿海气候也适于晒盐，特别是渤海、黄海沿岸,年蒸发量较大,降雨量较小,而且有明显的较长的干旱季节 东海、南海沿岸气温高,除雨季外,其他时间都可以产盐。因此，我国沿海 10 个省、市、自治区和台湾省都产海盐，是世界上产盐最多的国家，居世界第一位,1997 年我国的海盐产量达到 2 928 万吨。

http://bbs.3s001.com/

三、重要的化工原料——　溴的提取

溴是一种赤褐色的液体，具有刺激性的臭味。其蒸气对粘膜作用强烈,能引起流泪、咳嗽、头晕、头痛和鼻出血,浓度较高的还会引起窒息和支气管炎。别看溴对人有这么多坏处，它却广泛地用于医药。例如，溴剂（用作镇静药的溴化物的总称）能加强大脑皮层的抑制过程而发挥镇静作用，常用的有三溴片、三溴合剂和巴浦洛夫合剂，用于治疗神经衰弱和歇斯底里症等。大家熟悉的红药水（红溴汞）就是溴和汞的一种化合物。此外，像青霉素、链霉素、普鲁卡因等各种抗生素的生产都需要溴。

在农业方面，溴主要用来制作熏蒸剂和杀虫剂，以消灭害虫。近年来,甲基溴、乙基溴、次甲基溴、二溴乙烷、氯溴乙烷等作为农药获得了应用。在工业上，目前溴大量地用作燃料的抗爆剂。此外，感光材料需要消耗大量的溴化银。溴在橡胶工业中也有用途，用它能生产一种溴丁橡胶。溴还用来消毒饮用水、精炼石油等。可见，溴与人民的健康、工农业生产、国防建设等都有密切关系。

海水中溴的浓度较高，列第 9 位,平均浓度约 0.0067%。海水中溴的总含量有 9.5×10^{13} 吨，占整个地球上贮溴量的 99% 以上。目前世界上溴的主要是从海水中直接提取，所用方法基本上全是吹出法。吹出法，就是用氯气氧化海水中的 Br^- ,使其变成 Br_2,然后通入空气或水蒸气,将溴吹出来。这种方法分以下几个步骤：

（1）氯化　溴在海水中以 Br^- 的形式存在,提取的时候,必须先用氯气把它氧化成游离的溴。

http://bbs.3s001.com/

(2) 吹出　海水中的 Br^- 被氧化成游离溴以后，第二步就是把它从卤水或海水中吹出。方法有两种，一种是空气吹出法，就是氯化之后用空气吹出 另一种方法是水蒸气蒸馏法,就是游离的溴与水蒸气一道蒸出。

(3) 吸收　把游离的溴从海水或卤水分出以后，为了把它制成液态溴,还必须作进一步处理。如果用水蒸气蒸馏法,溴和水蒸气都可以用冷凝法分离开来，液态溴可以直接回收。但在空气吹出法中，溴蒸汽和大量的空气混在一起，妨碍冷凝。因此,为了从空气中回收溴,又有几种吸收的方法可用,其中大部分都要使用还原剂。其工艺流程见图 14。

目前，海水制溴工厂是与其他海水工业相结合的。因为海水温度对溴产率影响很大,冬季的收率就很低。所以,使用发电厂冷却用的温海水做提溴原料，或者用原子能发电厂排出的冷

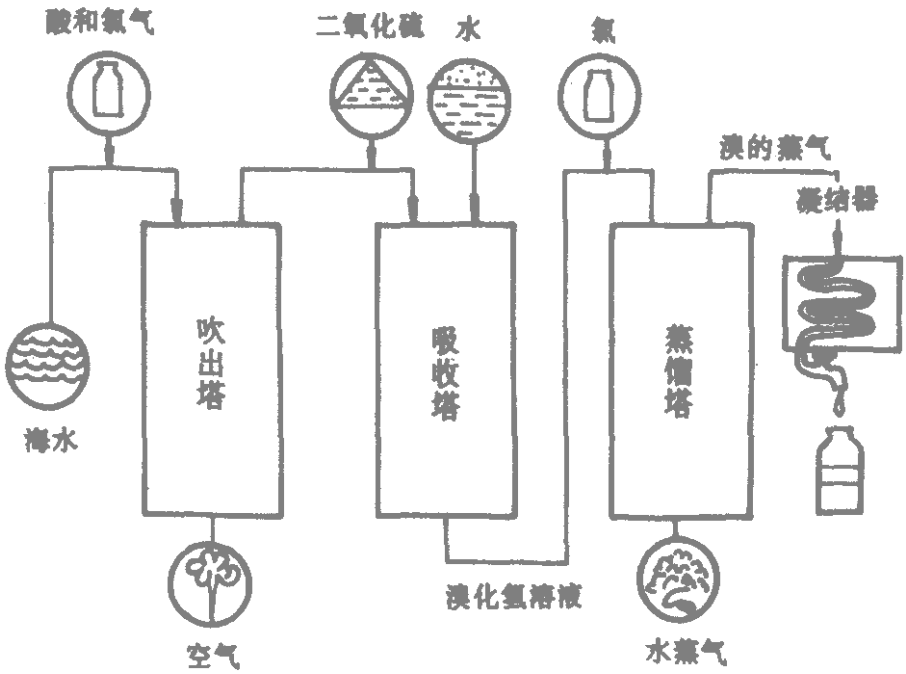


图 14　海水提溴吹出法流程图

http://bbs.3s001.com/

却海水提溴，都非常经济有利。此外，利用海水淡化的副产物制溴也是今后的发展趋势，一个日产 10 万吨的海水淡化工厂，要处理 15 万吨海水,才可获得 10 万吨淡水和 5 万吨浓缩了 3 倍的卤水。这 5 万吨卤水中就含有 10 吨溴，这是制溴工业最有利的原料资源。

四、农用钾肥——氯化钾

氯化钾是植物生长所需的重要肥料，肥效快，并能被土壤吸收，不易流失。钾肥施用适量时，能使作物茎杆长得坚实，防止倒伏,促进开花结实,增强抗旱、抗寒、抗病虫害的能力,因而对农业高产具有十分重要的意义。从海水中提取钾，主要就是用来制造钾肥。

钾在工业方面可用于制造钾玻璃（亦称为硬玻璃，主要由二氧化硅、氧化钙和氧化钾组成),它的特点是一般没有颜色,比钠玻璃难于熔化，不易受化学药品的腐蚀，常用于制造化学仪器和装饰品等。钾亦可以制造软皂，一般用于医药等方面的洗涤剂或消毒剂，也用于汽车和飞机的清洁剂。此外，钾铝矾（即明矾）可以用作净水剂和媒染剂，钾铬矾又可用作鞣剂。

海水中钾的总含量为 5×10^{14}吨，远远超过钾石盐等矿物的储量，真可谓取之不尽，用之不竭。但是海水中含钾浓度低，仅为 380 毫克／升,用以生产钾肥成本很高,长期以来,还只是利用生产食盐后的苦卤小量生产钾盐。一些缺乏可溶性钾矿的国家,如挪威、荷兰、日本、印度等,一直在努力研究,希望能够突破由海水大量生产钾肥的技术关键，曾经试验过许多方法，但只有个别的方法进行了中间试验。近年来此项研究工作已有了一些

http://bbs.3s001.com/

进展，我们相信在不久的将来是能够以工业规模生产的。

我国缺乏大储量的可溶性钾矿资源，仅有青海盐湖在部分提取生产钾盐。从制盐后的苦卤中提取钾盐是一条获取钾盐的重要途径。我国有漫长的海岸线，如能从海水中直接提钾，为钾盐生产开辟一条新途径，在政治上、经济上都是具有重要意义的。从海水中提取氯化钾主要有以下几种方法。

(一)蒸发结晶法

钾的化合物是太阳能蒸发法制盐后剩下的浓盐水的主要成分,由于浓盐水的来源较为容易,所以用这种方法生产的钾盐占有很大的比例。蒸发结晶法有许多流程，一般是先蒸发得到光卤石($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$),然后用适量的水处理,光卤石分解为固体氯化钾和氯化镁溶液。

(二)化学沉淀法

这种方法是利用沉淀剂与水溶液中 K^+ 生成不溶于水的钾的化合物，即从海水或海水浓缩物中回收钾。对沉淀剂的要求是：生成的钾的化合物溶解度要极小，沉淀剂的价格要低廉，能大规模生产，回收方便，没有毒性和污染问题。研究过的沉淀剂有二苦胺的钠盐、钙盐、镁盐或其衍生物，过氯酸钠或过氯酸钙，石膏,磷酸、磷酸钠或过磷酸钙,硫代硫酸钠,四苯硼钠等等。

(三)溶剂萃取法

利用一种不溶于水而又能够提取钾的有机溶剂，当这种溶剂与含钾的水溶液相接触时，钾被浓缩到溶剂中，而与水溶液所含的其他离子分开。这种有机溶剂除了二苦胺的硝基苯溶液以外，还有聚环醚，有机酸和酚的混合物，异戊醇和正丁醇，异丁醇,7～9 碳原子的有机酸在煤油中的溶液等等。由于溶剂的价格太贵以及溶解而造成损失等原因，这种方法的经济价值不大。

http://bbs.3s001.com/

(四)离子交换与吸附法

用离子交换剂（无机材料交换剂或树脂）或能捕捉 K^+ 的吸附剂富集 K^+，然后洗脱下来获得氯化钾。

到目前为止，人们所作的大量研究中，较为成功的还是蒸发的方法从卤水中生产钾。

五、镁化合物的提取

镁在国防、工业上起着重要的作用。镁合金可用来制造飞机、快艇,可以制成照明弹、镁光灯,还可以做火箭的燃料。人们日常用的压力锅及某些铝制品中也含有镁。农业上有一种镁肥，其主要成分就是镁。镁是组成植物叶绿素的主要元素，又能促进作物对磷的吸收作用。作物缺镁，光合作用就减少，生长停滞，叶片发黄并出现斑点。镁还是冶炼某些珍贵的稀有金属（如钛)的还原材料。

镁的化合物中需要量最大的就是氧化镁。镁砖就是含氧化镁 80％～88％ 以上的碱性耐火材料，它能耐 2 000℃ 以上的高温，对碱性炉渣有高度稳定性，主要用于碱性炼钢平炉和其他碱性冶金炉以及水泥窑的炉衬。镁氧水泥是由轻质氧化镁粉末与氯化镁或硫酸镁溶液调制而成的胶凝材料，硬化快，强度高，可掺和木屑、刨花等填料,用作建筑材料,也用于制造人造石、刨花板等。氯化镁可以做凝乳剂，在医药上常用硫酸镁做泻药。

镁在海水中的含量很高，其浓度为 0.129％ 。仅次于氯和钠，居第三位，虽然海水中镁的含量比白云石等镁矿低得多，而这些镁矿也正在大力开采，但高纯度的镁矿较少，所以，海水是镁的重要来源。海水中含镁的总量为 1.8×10^{15} 吨。

http://bbs.3s001.com/

不论是生产金属镁，还是其他化合物，其方法都是往海水中加碱，使其形成沉淀。在实践中，所用的碱几乎都是煅烧石灰石（或牡蛎的壳）所产生的石灰，或者是煅烧白云石（$CaCO_3 \cdot MgCO_3$）或含白云石的石灰石所产生的混合碱。其流程见图 15。

工业上应用最多的是氧化镁，所以海水中的镁沉淀为氢氧化镁后，煅烧即可得氧化镁。

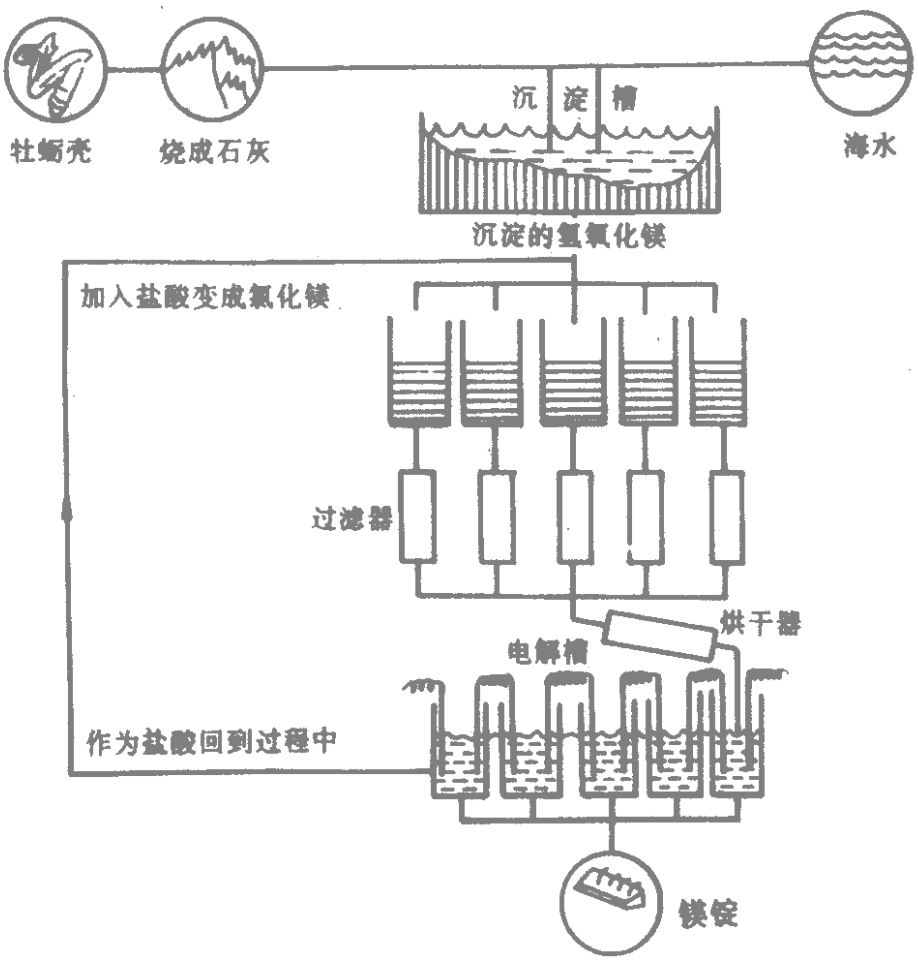


图 15　海水提镁流程图

六、核材料铀的提取

众所周知，原子弹和氢弹都是很厉害的武器，它的杀伤力和

http://bbs.3s001.com/

破坏力都是相当大的,它里面装的是什么“炸药”呢?是铀。核潜艇有的重达18 700吨,推进功率为11.03～22.06兆瓦,水下最大航速25海里／小时，可以连续在水下绕地球航行两三个月，续航力12万～20万海里,它既不烧煤也不用油,用什么做动力呢？也是铀。功率巨大的核电站，用什么作燃料呢？还是铀。铀裂变时能释放出巨大的能量,1千克铀所含的能量大约等于2 500吨优质煤燃烧时所释放的能量，也相当于20多万人一天的劳动量。因此，铀是极为重要的核材料。随着核武器和和平利用原子能工业的飞速发展，对铀的需要量与日俱增。然而，陆地上铀的贮量是有限的，目前有开采价值的总共不过100万吨左右。而海水里，虽然铀的浓度不高（每升海水只有3.3微克），但因海水量巨大,所以总量还是相当可观的,达45亿吨,相当于陆地上总贮藏量的4 500倍。所以世界上许多国家，特别是缺乏铀的国家（如日本、英国和德国等），都想方设法从海水中提铀。

国内外从事海水提铀的科技人员为了海水中提取铀，做了大量的研究工作，先后曾采用过溶剂萃取法、吸附法、离子浮选法、起泡分离法以及生物富集法等等。其中，萃取法是早期曾探索过的一种方法，它是以磷酸二丁酯做萃取剂，以煤油做稀释剂，在旋转的圆形萃取柱中与酸化的海水接触进行提铀的。萃取是定量的,从20升海水中获得60微克铀。这个方法虽然技术上可能，而在大规模的实践中，溶剂的损失很大，试剂的费用高，使这种方法在经济上失去了吸引力。目前还在进行研究的或有希望的提取方法有以下几种：

(一)起泡分离法

将气泡送入溶液中，溶液中的物质被气泡吸附，这种分离方

http://bbs.3s001.com/

法叫起泡分离法，这是近年来发展起来的一种方法。它的道理就是构成气泡的物质能与海水中的铀发生化学作用，这样海水中的铀就富集在气泡上,而气泡容易与海水分开,于是铀就提取出来了。有人采用磷酸酯做起泡剂,收到了较好的效果,据说铀的提取率达 80％～90％。

这种方法的弱点是需要外加捕集剂和用动力鼓泡，这在工程上难以作到。这种方法目前始终限于实验室范围内。

(二)生物富集法

人们发现许多海洋生物具有富集某些化学元素的能力，例如，牡蛎体内锌的含量比海水大 33 000 倍,一些浮游生物富集铀的浓度比海水大 10 000 倍，这个特点可以用在海水提铀上。如果把一种经过筛选和专门培养的绿藻放在海水中，在其生长过程中经 X 射线照射，那么铀就可以不断地富集于藻体中。这种方法的优点是选择性好,获得容易,价格便宜,使用方便,而且没有废物。这是一种新方法,如使其与海水接触,可以制成‘海藻过滤笼’,将其下在海流中，100 米^2 过滤笼每天可以处理 100 万吨海水。德国曾筹建过这种中间工厂。

(三)吸附法

这个方法出现得很早，最初是因含铁的沉淀物中含有铀而受到启发,目前仍以研究此法的为最多,看来这也是最有希望的一种方法。以下我们按照所用的吸附剂，分别加以介绍。

1.方铅矿

这是一种以含硫化铅为主的天然矿石，日本人古屋仲选用宫城县的方铅矿石做试验。他把方铅矿碎成粒径为 0.05～0.20毫米细粒之后，用醋酸铵一醋酸溶液洗净表面，再用水洗，并在常温下进行真空干燥。未经这种处理的原矿石，每克能吸

http://bbs.3s001.com/

附200～300微克铀,而经过处理后的矿石,每克能吸附690微克铀。方铅矿吸附铀后，在碳酸铵或碳酸钠的水溶液中浸渍约1小时，便可把铀解吸下来。

据研究，方铅矿在海水中能稳定地长时间使用。例如：矿石在海水中浸渍半年几乎不风化，也几乎看不出铅由矿石表面溶出；矿石粉碎成任意大小都能使用，吸附过铀后用碳酸盐溶液淋洗,用海水洗净,可以再使用;几乎不吸附除铀以外的其他元素，如钠、镁、钙、钡、硅、锰和钒等,也就是说,它对铀的选择性很好。显然，这些特性使它在海水提铀上有很好的前途。

2.碱式碳酸锌

用碱式碳酸锌提取海水中的铀的方法很早就开始研究。实验表明，它对铀的吸附能力很强，曾用载体法得到约500微克铀的吸附量，后来又有报道曾达到880微克的吸附量，这表明它也是一种值得注意的吸附剂。碱式碳酸锌的吸附速度快，并且不大受温度的影响，这些有利的条件对于进一步实现提铀工业化很有好处。但碱式碳酸锌在海水中的溶解度很大，容易流失，容易使海洋环境受到污染。

3.水合氧化钛

这是世界上海水提铀研究中一种最主要的吸附剂，它的优点是吸附容量大，适于天然海水条件，因而引起各国的普遍注意。它的吸附量在研究的初期就达到了很高的水平，经过长时间的改进,现在1克水合氧化钛吸附剂大约能吸附1毫克铀,与贫铀矿的含量大致相当，有时吸附量达到1.5毫克／克。目前对水合氧化钛吸铀的规律性也有了较深入的了解。例如：水合氧化钛含水越多,其吸铀量就越高;海水的温度越高,吸铀量越高，等等。

http://bbs.3s001.com/

但水合氧化钛也有缺点，主要是吸附速度慢，吸附一次达到饱和至少要几个星期，这对实际生产很不利。吸附慢的原因，据推测是由于水合氧化钛沉淀里的孔隙小，海水不容易进去。为此，在制备水合氧化钛时放一些玻璃或活性碳粉，结果在玻璃或碳粉上面就生成一薄层水合氧化钛，使吸附性能有了很大改进。

用吸附剂进行海水提铀，就需要把大量海水同吸附剂相接触。一座年产 800 吨铀的工厂，每日需处理海水 34 亿吨,相当于每秒处理海水 4 万吨。如此巨量的海水，如何使它通过吸附剂进行吸附，是实现海水提铀工业化的关键问题之一。海水与吸附剂接触的方式一般有以下几种：

泵柱式——就是把吸附剂装进吸附柱中，以泵为动力通入海水，使海水与吸附剂接触。这种方法常用于实验室，也可以大规模地用于海上。

潮汐湖式—— 英国哈威尔研究所提出利用潮汐提铀的方案,其关键问题是建筑两个湖(图 16),即上湖和下湖,上湖保持较高的水位。在两湖之间设置吸附床。当海水由上湖经吸附床流向下湖时，吸附剂与海水接触，并吸附海水中的轴。当涨潮并能向上湖进水时，上湖的水门 A 打开,让海水流入,退潮以后，把水门 A 关上;下湖的水门 B则相反,它是低潮打开,让接触过吸附剂的海水流走。

海流式—— 就是把吸附装置放在有海流的地方，让吸附剂与海水接触。这种接触方式是日本的尾方升等人提出来的。有人估计，美国佛罗里达附近的海流每年携带 200 万吨铀,倘若这种装置能有效地利用，它将是海水提铀实现工业化的一个有利的途径。

http://bbs.3s001.com/

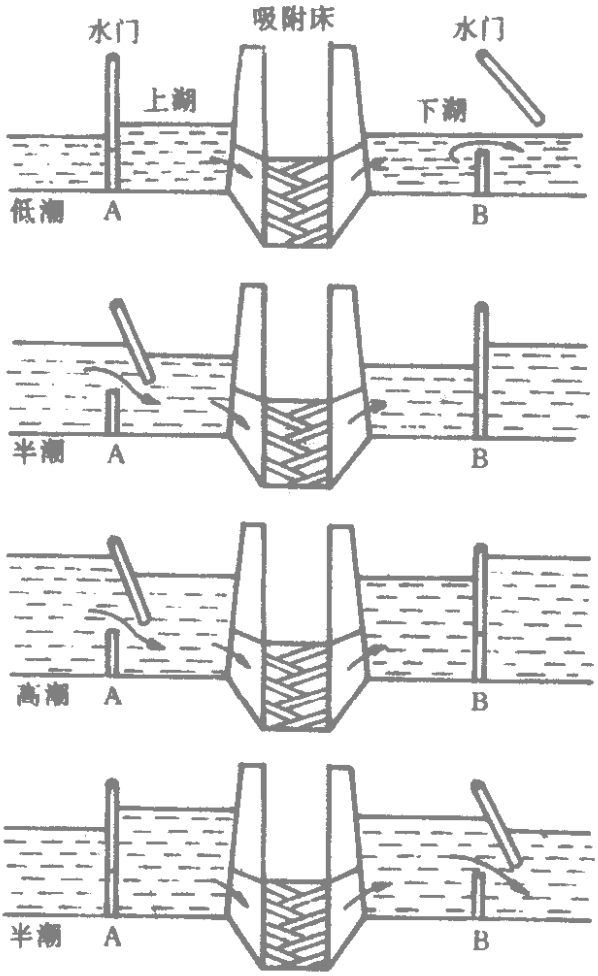


图 16　利用潮汐提铀方案

七、重水及其他稀有元素的提取

(一)重水的提取

重水是一种巨大的能源，可做原子能反应堆的减速剂和传热介质。由于重氢的核聚变反应可以释放出巨大的能量，它也是制造氢弹的原料。海水中含有 200 万亿吨的重水，因而从海水中提取重水一经实现，海洋就能为人类提供取之不尽、用之不竭的能量。

http://bbs.3s001.com/

现在较大规模地生产重水的方法有：蒸馏法、电解法、化学交换法和吸附法等。

（二）微量元素的提取

海水中含量很低的元素统称作微量元素。海水中含有 60 余种微量元素。虽然他们的浓度大多都很低，但由于海水总量很大，所以这些元素的总贮量也是很大的。这些微量元素的用处都是很大的。例如：锂是热核反应中的重要材料之一，也是制造特种合金的原料；铷可以制造光电池和真空管等；碘可以用于医药，平常所用的碘酒就是用碘制成的，它还是火箭燃料、高纯半导体材料等，碘化银可以用于人工降雨；钼可以用于制合金钢、钼丝和钼肥等 钒和钡可以用于合金，钒又可以作催化剂 至于锌、铝、铜和银的用途是大家比较熟悉的了。

上述微量元素中，锂的含量最高，为 0.18×10^{-6}，但至今从海水中提锂的例子很少。1975 年，日本有人用氢氧化铝与活性碳的复合吸附剂提取锂，效果很好，但这仅仅是实验室的研究成果。而目前主要是由盐湖卤水和矿水中提取锂。

海水中碘的浓度虽然也较高，但以往都是从海带中提取，海带有特殊的富碘本领，其含量为 0.3%～0.5%，甚至可达 1%。近年来，有人发现 JA－2 号吸附剂对碘具有惊人的吸附能力，吸附量达到每克吸附剂吸附碘 1 毫克以上。这对海水提碘的工业化可能具有很大的意义。

目前世界各国对海水中其他微量元素的提取，大多数设想从海水提铀过程中作为副产品而得到，这完全是可能的。所以，提取其他微量元素的方法也同提铀、提碘一样，是利用固体吸附剂（无机和有机的）与海水直接接触，从中有选择地吸附某种有用的微量元素。

http://bbs.3s001.com/

日本在研究海水提铀的同时，还考虑到提取锂、锶、钒和磷等副产品，以降低海水提铀的成本。

目前，由于经济方面的原因，稀有元素的提取仍处在研究探索中，但可以相信，在不远的将来，这些技术中的相当部分终要变为大规模的工业生产，造福人类。

八、海水化学资源开发的前景分析

世界海洋的海水总量约 1.37×10^{9}（千米）^{3}。海水中的化学资源极为丰富，除大量淡水资源外，溶存的无机盐类就达 5×10^{16} 吨。其中，氯化钠（食盐）约 4×10^{16} 吨，镁约 1.8×10^{15} 吨，钾约 5×10^{14} 吨，溴约 9.5×10^{13} 吨。陆地上已知的各种天然元素都可能存在于海水中，目前已检出并已确定其主要溶存形式的就有 80 多种。中国海岸线绵长，海域辽阔，且与大洋相连，海水化学资源取之不尽，用之不竭。

（一）海水化学资源开发利用现状

海盐是我国目前从海水中生产数量最多的产品，也是盐业发展的重点，中华人民共和国成立以后，海水制盐工业发展很快，全国盐田面积由 1949 年的 9 万公顷，扩大到目前的 30 多万公顷，海盐生产的技术工艺不断改进，机械化和半机械化程度不断提高，生产能力和产量逐渐增加。近些年来，海盐的年产量都在 2 000 万吨以上，居世界首位。1950～1983 年，海盐的累计产量为 31 000 万吨，约占全国原盐总产量的 80%。海盐的质量也普遍提高，目前，氯化钠一般含量都在 90% 左右，有的达到了 95%以上。

海水提镁国外已有 60 多年的历史。目前，世界上有 10 多

http://bbs.3s001.com/

个国家从海水中生产镁砂，年总产量达 200 万吨。其中产量最多的是美国和日本，年生产能力均超过 70 万吨。日本的宇部化学工业公司是目前世界上最大的海水镁砂生产厂家，其年生产能力达 45 万吨。我国由于陆地天然菱镁矿资源丰富，镁及镁化合物的来源主要靠陆地解决，只是根据需要每年利用制盐卤水生产一定量的氯化镁，1983 年为 22 万吨。另外，我国有关单位还开展了直接利用海水提取氧化镁的科研和试生产工作，取得了一定成绩。

世界钾肥产量的绝大部分是以钾石盐为原料生产的。由于钾石盐矿床的分布极不均匀，主要集中在加拿大、法国、德国、美国和俄罗斯等国家。许多陆地缺乏钾石盐等可溶性钾矿资源的国家，为了满足农业生产的需要，除了花费大量外汇进口钾肥外，还积极寻找其他来源。不少国家一直在努力研究，希望能够突破直接由海水大量生产钾肥的技术关键。但直到目前，直接从海水中提钾在技术上和经济上尚未过关。虽然已提出和试验过许多方法，但只有蒸发结晶法在工业上用于制盐卤水制钾，其余方法均处于试验研究阶段。我国目前钾的生产主要来自制盐苦卤，1983 年产氯化钾 4.2 万吨。另外，每年还从陆地其他资源生产少量钾肥，按氧化钾算，1983 年约产 2.6 万吨。我国主要采用人工合成分子筛、天然沸石等海水提钾的方法，并提出了天然沸石交换叠加吸附的工艺流程。沸石提钾经小试取得突破后，于 1978 年建立了千吨级中试装置进行中试。其后又转入小试，进一步对洗脱剂、如何提高有效吸附量、充分利用废热和提钾新工艺等进行深入研究，以求降低海水提钾成本。

海水提溴，国外自 1934 年空气吹出法成功之后发展很快，到 40 年代，美、英、法、日等国都相继建立了海水制溴工厂，投入

http://bbs.3s001.com/

工业化生产。目前，世界上溴的年产量 30 多万吨，主要来源于海水和卤水(盐湖卤水、地下卤水和制盐卤水),其中英、法、日等国主要以海水为原料提溴；以色列以死海海水为原料提溴；美国在 60 年代以前绝大部分溴都是从海水和盐湖卤水中制取，自 70 年代开始，则全部以天然卤水（盐湖卤水和地下卤水）为原料制溴。我国溴素生产基本是 1949 年后才发展起来的，目前主要用蒸汽蒸馏法从海盐和井盐卤水中生产， 1983 年产溴 4 000 吨，其中大部分来自海盐苦卤。空气吹出法由海水直接提溴的研究,我国始于 1967 年，1968 年取得小试成功，尔后青岛、连云港、广西北海等地相继建立了年产百吨级的海水提溴工厂进行试生产。树脂吸附法海水提溴 1972 年试验成功,结果表明技术上可行，且不受季节性海水温度变化的影响，适于北方沿海使用。另外，1977 年山东海洋学院（现青岛海洋大学）研制的 JA－2号吸附剂用于海水提溴，据报道也是有希望的。

海水淡化的历史已经很久，但作为一门应用科学，还是从 20 世纪 50 年代才开始迅速兴起。随着社会经济的发展、人口的增加和人民生活水平的提高，人类对淡水的需求量不断增加，不少地区和国家的淡水资源不能满足需要，急待寻求新的水源。因此，海水淡化日益引起世界上许多国家的重视。据统计，目前世界上约有 40 多个国家在开展这方面的工作，技术较先进的有美、日、英、法、俄、意等国。许多国家的政府还设立专门机构负责组织管理海水淡化研究工作，推进海水淡化技术的发展。有的国家已把海水淡化作为解决淡水水源不足的主要方法之一，特别是科威特和沙特阿拉伯，基本上靠海水淡化解决饮用水。目前，海水淡化的方法已有 20 多种,其中蒸馏法、反渗透法、电渗析法已投入工业规模生产，到 1980 年 6 月,世界上日产淡水

http://bbs.3s001.com/

95 吨以上的淡化工厂就已发展到 2 205 个，淡水产量每天达 728 万吨。

我国海水淡化研究始于 20 世纪 50 年代末,同时开展了电渗析、反渗透和蒸馏等几种方法的研究。 40 年来,我国海水淡化事业已经形成了一支相当大的科技力量，科研和生产初具规模。据不完全统计，全国从事淡化技术研究、设计、教学和信息工作的部门有 100 多个,生产淡化设备的工厂有 30 多家,并已在杭州形成了以膜法为主的淡化技术开发中心。目前，我国淡化技术的发展已进入生产应用阶段，正在国民经济建设中发挥着良好的作用。技术较成熟的电渗析法，从离子交换膜、隔板、隔网、电极等部件到本体结构及系统工程，都有所创新，装置正向标准化、系列化发展。日产千吨级电渗析苦咸水淡化装置和日产 200 吨级电渗析海水淡化装置已投入使用。反渗透法的各种类型装置均有研究，并开始向实用化迈进。日产 5 吨、10 吨的苦咸水淡化器,日产 1 吨、2～3 吨的海水淡化器,蜂窝体动力形成膜组件，以及卷式和中空纤维式淡化器等 18 种器件已经工业化生产，条束式和管式反渗透器已投入生产。另外，还从国外引进了反渗透和超滤装置约 20 套，其中最大的反渗透装置日产水能力为 2 600 吨。各种类型小规模蒸馏装置已在舰船上应用，日产百吨级陆用海水淡化多级闪蒸试验装置已研制成功，基础和配套技术已经成熟，并具备了开发大中型多级闪蒸和竖管多效蒸发海水淡化装置的技术条件，还计划引进外国先进技术设备，消化吸收后自行设计制造。离子交换法早已在全国广泛使用。超过滤、扩散渗析、太阳能蒸馏等技术的研究也取得了可喜的成果。尤其是超过滤技术，已有十多种管式、中空纤维式、板式装置投入生产使用。太阳能蒸馏技术也在几处建立了装

http://bbs.3s001.com/

置，在正常运转。据粗略统计，目前全国使用各种淡化技术的单位约有 1 400 个，正在运转的各种淡化装置约 2 600 台(套),日产水能力约 20万吨。

(二)2000 年海水化学资源开发预测

2000 年海水化学资源开发的预测，主要是以我国国民经济发展总目标对海水化学资源的需求，目前海水化学资源开发利用的技术水平、能力及未来可能达到的程度，陆地资源状况，陆地与海洋开发的社会效益和经济效益为依据。对不同海水化学资源，试采用不同的几种方法进行预测。

1. 海盐

(1) 消费系数法　根据目前我国各方面的用盐情况以及今后工农业生产等各有关用盐部门的发展和人口增长情况，利用消费系数法预测 2000 年我国盐的需求量和海盐应生产量：2000 年工业用盐为 1 800 万～2 400 万吨,生活用盐为 850 万～900 万吨,农牧业用盐约 100 万吨，渔业用盐约 60 万吨,出口用盐约 200 万吨。由此预测，我国 2000 年需 3 000 万～3 660 万吨 。

(2) 平均速度增长法从 1949 年至今,我国海盐生产虽然受自然和社会等因素的影响，各个时期的发展不稳定，产量出现有增有减的波动，但平均来看，总的趋势是逐步增加的。 1949 年的年产量为 259 万吨,到 1997 年则为 2 928 万吨,48 年中年增长了 10.3 倍。估计今后海盐生产虽然还会受到上述因素的影响，但更应看到随着科学技术的迅速发展，海盐生产的技术工艺肯定也会逐渐提高,2000 年海盐生产约为 3 840 万吨。

2.镁

海水镁砂具有组织均匀、密度大、纯度高等特点，其品位可

http://bbs.3s001.com/

以达到 98%～99%，这是陆地生产的天然镁砂所不能比拟的，因而具有一定的竞争能力。海水优质镁砂的发展前景在国外已被公认，可以预料，随着我国冶金工业技术的不断提高，海水优质镁砂会越来越多地被利用。据此预测，今后我国一般用镁（镁砂纯度低于 96%）不需由海水提取 若需要纯度 98% 以上的高纯镁砂，在经济效益大致相当的情况下，应根据需要，以综合利用的方式，有计划地从海水中生产镁砂。另外，制盐苦卤中镁盐含量丰富，可用于生产氯化镁、高纯镁砂和金属镁等。按目前制盐苦卤利用率(约 40%）和苦卤提取氯化镁的水平推算，2000 年可生产氯化镁 80 万～120 万吨。

3. 钾

（1）一元线性回归法　根据 1949～1982 年我国苦卤提钾的年产量，我们用一元线性回归方程 $y = a + bx$ 进行回归分析，其相关系数为 0.93。预测我国未来利用制盐苦卤生产氯化钾的生产量，2000 年约为 7.7 万吨。

（2）平均速度增长法以 1983 年苦卤提钾产量为基数，按 1966～1983 年苦卤提钾的年平均增长速度推算，到 2000 年约为 8.2 万吨。

（3）根据目前我国制盐苦卤利用率（约 40%）和苦卤提钾水平推算到 2000 年可生产 7.9 万～11.8 万吨。

另据有关科研部门和专家分析，苦海水提钾经改变工艺后，在技术上、经济上过关，则到 2000 年有可能年产 20 万～30 万吨氯化钾。

4. 溴

（1）平均速度增长法　按目前我国溴素的用途，以 1983 年溴的需求量 7 350 吨为基数，用 1979～1983 年溴需求平均增长

http://bbs.3s001.com/

率 3.38% 推算，2000 年约为 12 900 吨。以 1983 年我国苦卤提溴产量 4 347 吨为基数，按 1966～1983 年苦卤提溴年平均增长速度推算，2000 年约为 14 900 吨。

(2) 一元线性回归法　根据 1966～1983 年制盐苦卤提溴生产量，用一元线性回归方程 $y = a + bx$ 进行回归分析，其相关系数为 0.93，到 2000 年约为 7 200 吨。

(3) 根据目前我国制盐苦卤利用率（约 40%）和苦卤提溴水平推算到 2000 年可生产 7 900～11 800 吨。

另据有关科研部门和专家的分析，如果海水提溴技术进一步提高，经济上过关，预计到 2000 年我国直接由海水提溴的年产量有可能达到 2 万～3 万吨。

5. 海水淡化

根据目前我国淡化技术研究力量、技术水平、生产能力和今后可能达到的程度，根据我国工农业生产各有关部门对淡化技术的需要、淡化技术的发展趋势以及有关专家的评估等综合分析，预计近几年，我国电渗析技术可达到设计建造日产万吨级苦咸水淡化装置、千吨级海水淡化装置的水平；反渗透技术可达到设计建造日产千吨级纯水制造装置的水平；蒸馏技术可达到设计建造日产 5 000 吨级海水淡化装置的水平。到 2000 年，除电渗析技术将在原有基础上进一步改进完善提高性能外，蒸馏技术达到设计建造日产万吨级海水淡化装置的水平，反渗透技术达到设计建造日产万吨级苦咸水淡化装置、千吨级海水淡化装置的水平，并具备设计建造日产 10 万吨级膜法成套造水设备的能力。

据调查，到目前为止，我国实际所使用的淡化技术主要是电渗析技术，其他淡化技术应用还较少。即使这样，造水能力也是

http://bbs.3s001.com/

发展较快的。计算表明，全国淡化技术的日造水能力从 1975 年前的约 2 万吨,发展到 1983 年的约 20 万吨,仅用了 9 年的时间，年平均增长速度约 29% 。发展这样快的主要原因，一是 1975 年后电渗析技术的发展有所突破，产生了飞跃，从而苦咸水电渗析淡化装置的规模从日产水几十吨，发展到日产水几千吨，海水淡化装置从日产水几吨，发展到日产水 200 吨；二是电渗析技术的使用效益逐渐被认识，使用范围得到逐渐成熟，并将日益广泛地投入使用。当然，还应看到，由于淡化水的成本今后还是比天然淡水高，要普遍大规模使用还会受到限制。

根据以上简单分析，我们估测：今后我国整个淡化技术的造水能力每年平均以 26% 左右的速度增加是可能的。这样，到 2000年，总造水能力每天可达 1 000 万吨。其中海水淡化约占 10% 苦咸水淡化约占 40% 城市、工业污废水处理再生、工业纯水制造等约占 50% 。海水淡化技术可以作为解决我国淡水不足的一个重要辅助手段，为生产、生活等提供用水，在全国各苦咸水区（尤其西北苦咸水区）、华北干旱区、沿海缺水工业区(尤其北方沿海工业区)、内陆工矿区发挥作用,在某些部门和方面可以作为主要供水手段。

从目前预测的结果来看，2000 年时，我国淡化技术的应用领域主要在陆地水。估计 2000 年以后，随着社会经济的发展，淡水用量越来越大，当陆地水最大限度地被利用还不能满足工农业生产和人民生活的需要时，当海洋开发达到相当大的规模、形成许多海洋产业时，淡化技术的应用领域和战略重点将逐渐转向以海洋为主。

(三)海水化学资源开发战略与对策

众所周知，随着人类社会的发展，陆地上的有限矿物资源将

http://bbs.3s001.com/

逐渐被消耗，并迟早会出现枯竭。因此，向海洋进军已成为必然的发展趋势。

为解决陆地某些矿物资源的短缺，根据国民经济建设发展的需要和可能，积极地、有计划有步骤地研究从海水中提取各种有用化学物质，应成为海水化学资源开发的宗旨和总的战略思想。

但是，也应该看到，海水中的化学资源虽然非常丰富，且各种元素的总储量都很大，然而由于海水是一个极稀的混合盐溶液，浓度大都不高，要分离提取有用化学物质有一定困难，尤其提取浓度较小的化学元素困难更大。因此，要确定某种海水化学资源是否开发，何时开发，开发的规模，既应考虑这种资源在陆地上储量多少、品位高低以及开采的经济效益和产品的质量，又应考虑海水中这种资源的丰度、开发的难易、开发的技术水平以及开发的经济效益和产品的质量；既应考虑这种资源的国内来源，又应考虑其国外市场；既应考虑海水中这种资源近期开发的需要和经济价值，又应考虑其长远开发的战略需要和战略价值等。如果认识到陆地矿物资源总的趋势是越来越减少，如果认识到陆地某种资源在不久的将来会短缺，那就必须从战略的观点考虑未来这一资源的供需问题，及早提到日程上逐步研究解决，以免措手不及。根据上述这些观点，可以认为，2000 年以前，我国海水化学资源开发研究的重点应是海水提钾、海水淡化、海水提溴等。其他一些微量元素(如铀等)的提取研究，虽具有战略意义，但根据目前我国的实际情况，不宜投入很大力量，只宜组织精干人员进行技术研究，跟上世界研究步伐，减小与国外的差距。

对具体不同海水化学资源的开发，应采取不同的具体开发

http://bbs.3s001.com/

战略和对策。

1.盐

为满足我国经济发展的总目标和人民生活达到小康水平对盐的需求，在提高经济效益的前提下，建设中国特色的现代化盐业，应是我国盐业发展的主要指导思想。

我国盐业资源由海盐、湖盐和井矿盐三大部分组成，其中海盐生产具有优越的自然条件。首先，我国的海水盐度，除某些河口海区外,大部分海区在 3%左右,有利于海盐生产 其次,我国有广阔平坦的沙泥质海涂，适宜于开滩晒盐。另外，我国的气候条件良好，尤其北方（如渤海湾沿岸、山东半岛及淮北）蒸发量大，降水量少，有利于大面积晒盐。多年来实践表明，海盐生产具有产量大、耗能少、成本低、运输方便等特点。因此，要达到 2000 年我国对原盐的需求和预测目标，必须进一步发挥海盐生产的优势。除主要进行盐田技术改造（如积极推广和研究盐田防渗新技术、因地制宜地采用先进结晶工艺等）、提高单位面积产量外，还需在适当地区扩建适量盐田。同时，应努力提高盐业生产的机械化程度，提高盐业生产的管理水平。

2.镁

预计今后几百年内，我国镁资源不成问题。但现有生产镁砂的技术设备较落后，生产出的镁砂纯度不高，达不到近代冶炼技术的要求。为了满足我国对高纯镁砂的需求，除改进陆地天然镁砂生产技术提高产品的质量外，还应适当开展海水淡化后浓缩水、制盐卤水及海水提取镁砂的研究，以便根据需要开发高纯海水镁砂。

3.钾

目前，钾的产需差距很大，每年需大量进口。随着工农业生

http://bbs.3s001.com/

产的发展，钾的需要量将越来越大，尤其农用钾肥更为短缺。我国要达到 2000 年粮食产量指标，除水土等其他条件保证外，要提高单位面积产量还要靠合理施肥，以保持各种营养元素的适当比例。目前，世界农业施肥氮磷钾比例是 1∶0.61∶0.52，而我国施肥的比例失调。为使农业发展适应现代化建设的要求，有关部门提出，应逐步调整我国氮磷钾施肥比例，到 2000 年钾肥需要量将更大。

根据我国钾矿资源的构成特点、生产建设条件和开发水平，到 2000 年，就是青海察尔汗盐湖等新建钾厂全部投产，供需矛盾仍然很大。为此，必须从战略的观点采取措施加以解决。

从现在就应开始加紧开拓新的来源：地质部门应积极进行勘探，在陆地寻找新的可开发利用的钾矿资源；对外投资，即在钾盐资源丰富的国家如加拿大、德国、泰国等投资，以购买股份或合资的形式开办矿山，开发钾资源，这可以相对保证我国钾盐进口的稳定性，少受国际市场供需和价格波动的影响；利用海水和海水淡化后浓缩水的提钾研究必须加强，现在应提到日程上认真对待，应对该项目大力支持，以进行更深入的试验研究，拿出可行方案。

4 溴

目前，我国的溴素主要用于医药、染料、摄影材料、灭火剂等各个方面，随着工农业生产的发展，溴的用途会逐步扩大（如制造抗爆剂、阻燃剂、含溴新农药、石油钻井清洗剂等），其需求量将不断增加，单靠制盐苦卤生产的溴素是满足不了社会需要的。为满足经济建设对溴的需求，达到 2000 年预测目标，应采取以下措施：进一步充分利用制盐苦卤资源并努力提高提溴技术增加回收率；地质部门应积极勘探，进一步寻找陆地可开发利用

http://bbs.3s001.com/

的天然含溴卤水资源,加以开发利用;从战略的观点来看,未来溴的生产将主要来源于海水，必须积极开展海水直接提溴和海水淡化后的浓缩水提溴试验研究。空气吹出法提溴，应努力提高技术,降低成本,推广使用,尤其应与电厂结合,用电厂用于冷却后的海水为原料大量生产溴。加强吸附法(如树脂吸附法)海水提溴的试验研究，力争经济上过关，在我国北方沿海推广使用。

5.海水淡化

我国陆地水资源总量约为 2.7×10^{12} 米^3，河川径流总量约为 2.6×10^{12} 米^3，居世界第六位。但按耕地平均占有水量算，只有世界平均占有量的二分之一左右；而按人均占有水量算，只有世界人均占有量的四分之一，属于低水平的国家，水资源并不富裕。而大量城市工业污废水的排放，又降低了水资源的可利用价值。据不完全统计，目前全国约有 100 多个城市已不同程度的缺水。今后，随着工农业生产的迅速发展，用水量不断增加，水的需求矛盾将越来越大。据初步预测，到 2000 年,全国年总需要量可达 7×10^{11} 米^3 左右，约占我国水资源总量的 26%。虽然这个比例不大，但由于我国水资源的地区分布极不均衡，所以按 2000 年时我国的供水能力，那时全国大约将缺水 7×10^{10} 米^3,主要集中在北方水资源贫乏的黄、淮、海、辽四个地区,每年缺水 $4\times10^{10}\sim5\times10^{10}$ 米^3,约占全国缺水量的 70% 其次是西北干旱地区、滨海区、南方山区和高原区，约占全国缺水量的 30%.

为满足我国现代化建设对淡水资源的需求，除采用兴修水利工程、充分利用现有水资源以及合理用水、节约用水和防治污染等措施外，利用海水淡化技术作为解决水源不足的重要辅助

http://bbs.3s001.com/

手段，应更加引起充分重视。为达到预测的 2000 年我国海水淡化技术的造水指标，可以采取以下决策：国家应从战略的观点考虑未来的供水问题，建立统一的水资源开发研究管理机构，通盘考虑各种解决水源的手段，大力加强淡化技术的研究和发展；在进一步改进现有淡化技术性能、降低造水成本的同时，重点进行大型化装置的研制，提高单台淡化器和单元组件的产水能力，以适应建造大型造水工厂的需要；在有条件的沿海（尤其北方沿海)地区发展多种目的工厂,如发电、造水(蒸馏法)双目的工厂，同时利用淡化后的浓缩水提取钾、溴、镁、食盐等；进行各种有关原材料的研究和生产，大力加强电渗析离子交换膜和反渗透膜的研制，增加膜的品种，提高膜的性能；积极研制利用新型能源(如太阳能、风能、海洋能等)的淡化装置 加强研制淡化系统的仪器仪表、前后处理以及泵等配套设备；建立淡化技术的科研、设计、试验、生产、推广应用联合体(或公司),以利于缩短科研、生产周期，使淡化技术尽快产生社会经济效益。

最后还应该着重强调的是，海水化学资源单项提取技术工艺过关之后，大力开展综合利用研究，依次提取多样产品，应是海水化学资源开发的发展方向。这不仅对提取海水中的大量元素是需要的，而且对提取微量元素更是必要的。因为对微量元素来说，只有在提取别的浓度大的大量元素过程中作为副产物提取才是最适宜的。这可以有效地降低生产成本，提高海水化学资源开发的经济效益，并可以盈补亏，促进海水化学资源开发利用事业的不断发展。

http://bbs.3s001.com/

食品与药物的宝库
——海洋生物资源的利用

随着地球上人口的不断增长，如何解决人类需求蛋白质日趋紧张的矛盾，已成为人们最关注的问题之一。《第三次浪潮》的作者、未来学家托夫勒预言——“海洋能帮助我们解决最困难的食物问题”。有人计算，全球海洋浮游生物的年生产量(鲜重)为 5 000 亿吨。在不破坏生态平衡的情况下，每年可向人类提供 300 亿人口食用的水产品。目前，世界每年从海洋中获取的水产品为 8 000 万吨，约占人类现在食用蛋白质的五分之一。但是，人们已经认识到，现有的海洋捕捞能力已接近传统渔业资源的再生能力，通过传统渔业已难以大幅度提高渔业产量。然而，人们发现，利用生物技术和海洋工程发展海洋生物资源的新兴产业却有巨大的开发潜力。尤其是海洋增殖养殖、海藻等水产品的深加工和海洋药物资源的开发等新兴产业，有着广阔的发展前景。

海洋生物资源是大自然赋予我们人类的极其宝贵的资源。有些海洋生物还具有很高的药用价值。海洋渔业是重要传统海洋产业之一，它与人民群众的生活密切相关。通过海洋捕捞和海水养殖，每年可提供几百万吨海洋水产品，以满足社会对动物

http://bbs.3s001.com/

蛋白供应量不断增长的需要。因此，海洋渔业在国计民生中占有重要地位。

我国海洋生物资源的开发潜力，在很大程度上取决于中国海区(渤海、黄海、东海和南海)的地理位置,中国海区有优越的自然地理条件，但也有不利的自然因素，即四个海区的生物生产量在全球范围内仅属中下水平。通过计算，中国海域的年平均生物生产量为 3.02(单位为吨/(千米)^2,下同),而太平洋沿岸高达 18.2,日本近海为 11.8,北海为 4.7 由于中国海域的生物生产量低于世界各地的平均水平，因而决定了中国海域鱼类资源的可捕量只能维持在一个较低的水平上。从目前我国海洋捕捞的现状看，近海渔业资源已遭破坏，经济鱼类已形不成渔汛，捕捞品种和质量日趋下降。如果要使海洋捕捞的产量在今后一段时间里有较大发展，国家必须建造大型远洋渔船队，到公海和世界其他水域去捕鱼，但根据目前我国的国力以及国家对海洋的投资情况，在短时间内要做到这一点是很困难的。因此，为了使海洋渔业产量的增长速度能够保持现有的发展势头，而又尽量不破坏渔业资源的生态平衡，就必须大力发展海水养殖、海水增殖和海洋牧场，以缓解对近海渔业资源的压力。

一、海洋生物资源概况

海洋生物资源主要包括渔业、浮游生物、微生物、药物等资源。这些资源中，尤以渔业资源与人类生活的关系最为密切，成为人类开发的重要对象。其次是海洋药物资源，为人们提取和研制新的药物提供了大量原料。

http://bbs.3s001.com/

(一)近海渔业资源

我国近海水质肥沃，生产力较高，是各种海洋动物栖息、索饵、生长、产卵的良好场所。我国海洋捕捞量的 90% 来自这一海域。我国海洋 200 米水深以内的渔场面积约 1.5×10^6 (千米)^2，有鱼类 1 500 多种，主要经济鱼类 70 多种(近海)。据专家计算，我国及毗邻海域渔业资源年可捕量为 400 万～470 万吨，是世界上重要的渔场之一。我国还有水深 15 米以内的浅海滩涂 0.13 亿公顷，适于多种鱼虾和贝藻类繁殖生长，具有发展海水养殖的优越条件。近年来，由于自然因素、人为因素的影响，渔业资源结构发生演变。

1983 年，我国海洋渔业产量为 362 万吨，是 1950 年的 6.5 倍，占全国水产品产量的 66%，其中 90% 来自于近海。人均水产品占有量为 5.45 千克，是 1952 年的 1.8 倍，约为世界平均水平的 1/3。捕捞产量按海区分，渤海 28.6 万吨，黄海 57.3 万吨，东海 159.4 万吨，南海 62.3 万吨。按品种分，大黄鱼 5.9 万吨，小黄鱼 3.1 万吨，带鱼 49.3 万吨，墨鱼 5.0 万吨，鲳鱼 5.7 万吨，鳓鱼 1.3 万吨，马鲛 6.1 万吨，马面鲀 26.6 万吨，鲐鱼 10.7 万吨，蓝圆鲹 17.7 万吨，海鳗 2.0 万吨，青鱼 2.3 万吨，竹夹鱼 4 千吨，对虾 1.7 万吨。

从我国水产品结构的变化情况看，近海鱼业资源已遭到严重破坏，主要经济鱼类资源明显衰退。从渔获物看，质量普遍下降，主要经济鱼类幼鱼比例大为增加，从而造成渔业收益减少。就海区来看，黄渤海主要经济鱼类严重过度利用或濒临枯竭，而小型中上层鱼类明显增加。东海主要经济鱼类已利用过度。南海近海的资源状况是，优质鱼在酷渔滥捕下资源受到破坏，鲐鲹类和马面鲀资源上升。但就渔业资源的整体看，不过是品种的

http://bbs.3s001.com/

交替,数量变动规模不大。

(二)外海渔业资源及开发前景

我国外海渔业资源是相当丰富的，目前我国在东海外海的捕捞产量达 30 万吨，其他主要是在日本、韩国南部捕获。据调查,东海外海有 20 多种鱼类具有一定的捕捞价值。它们是马面鲀、鲳鲹类、乌鲳、枪乌贼、水珍鱼、鲅鱼、马鲛鱼、远东沙丁鱼、鲷鱼、红娘鱼、海鳗、金线鱼、蛇鲻、黄姑鱼等。而尚有开发潜力的可分为两类：一类是目前较少利用或尚未利用的种类，即台湾海峡南部的大甲鲹、乌鲳、枪乌贼、水珍鱼等,这些鱼类资源有一定数量可供开发；第二类是已利用一定数量，但尚有一定潜力的种类,有鲳鲹类、马面鲀、远东沙丁鱼等。

据估计，台湾海峡南部的大甲鲹、乌鲳、枪乌贼尚可捕捞 2 万～3 万吨。对那些生活在东海外海的中上层鱼类资源如鲳鲹类、远东沙丁鱼、马鲛鱼等，我国利用的很少，大部分被日本、韩国等捕获，若能加强同日本等国的竞争能力，也有 10 多万吨的开发潜力。

南海外海鱼类种类繁多，贮量丰富，是我国发展外海渔业生产的良好基地。1982 年,南海的捕捞产量为 62 万吨,捕捞产量主要来自于 100 米等深线以内的近海水域， 100 米等深线以外的大陆架、大陆斜坡海域的渔业资源目前基本上未被开发利用。有开发价值的主要经济鱼类有鲳鱼、竹夹鱼、蓝圆鲹、瓦氏软鱼、深水金线鱼以及深水虾等。据估算，可捕量约为 20 万吨。

(三)海洋渔业资源

1. 资源贮量及开发现状

据估算，海洋鱼类的年可捕量为 3 亿吨,其中深海区 2 500 万吨。海洋头足类约有 500 多种,其中乌贼、枪乌贼、鱿鱼等储

http://bbs.3s001.com/

量十分丰富,迄今 90% 的资源尚未开发利用，估计大洋性头足类资源蕴藏量 2.5 亿～7.5 亿吨,年可捕量 1 亿～3 亿吨。

目前世界海洋渔获量为 8 000 万吨左右,渔获量的 90% 以上是在占海洋总面积 7.5% 的大陆架水域获取的。1982 年世界海洋渔获量为 6 820 万吨。按洋区分：太平洋渔获量最高，为 3 933万吨，占海洋渔获量的 57.7% 大西洋次之,为 2 513 万吨,占 36.8% 印度洋 374 万吨,占 5.5%。1980～1982 年海洋水产品的年均增长速度为 3.3% 。按国家分：日本为 1 078 万吨,美国 399 万吨,前苏联 996 万吨,中国 493 万吨,秘鲁 345 万吨 智利 267 万吨 另外,挪威、印度、韩国、印度尼西亚、丹麦等分别超过 100 万吨。在不同的渔区，鱼类资源的利用程度有所不同。西北、中东、东南大西洋和西北太平洋是许多国家大型渔船作业的主要渔场；其次是中西和西南大西洋、印度洋以及中西和西南太平洋。总的来看，太平洋及大西洋北部资源利用得比较充分，太平洋和大西洋中部、南部以及印度洋潜力较大。

2. 我国可能开发的远洋渔场

根据世界渔业资源开发现状及潜在贮量，我国可开发的渔场有阿拉斯加、西非、东非、南非、拉美地区。这些海域尚有一定数量的渔业资源可供开发。

此外，我国可开发的远洋渔业还有南极磷虾资源。南大洋是世界上重要的水产品基地，那里的磷虾资源蕴藏量相当丰富，是重要的渔业资源开发对象。目前对南极磷虾资源量的估计数字还并非完全一致，一般认为 10 亿～20 亿吨。据联合国粮农组织估计，在不破坏生态平衡的前提下，年可捕量为 5 000 万～7 000 万吨，相当于目前世界渔获量的总和。也有些渔业专家认为,每年捕获 1 亿吨以上的磷虾，不致造成资源减少。

http://bbs.3s001.com/

(四)海水养殖资源

近年来，我国海水养殖生产有很大发展。1981 年产量为 45.8 万吨，占海洋捕捞产量的 16.5%，占水产品总产量的 9.9%;1982 年产量 49.5 万吨,占海洋捕捞产量的 16%,占水产品总产量的 9.6%,是 1954 年海水养殖产量的 5.6 倍。海水养殖面积 1981 年 13.8 万公顷;1982 年 16.2 万公顷,是 1954 年海水养殖面积的 6.5 倍,占可养面积的 12%左右,尚有 80%以上的面积未被利用。据统计，共有海水可增养殖面积 217.6 万公顷,其中浅海 165 万公顷,滩涂 44.3 万公顷,港湾 7.6 万公顷。1990 年已养面积 15 万公顷，折合利用面积约 47.7 万公顷,占可增养面积的 19.5%,其中浅海仅利用 5%左右。

海水养殖的品种有海带、紫菜、贻贝、扇贝、鲍鱼、蛏、牡蛎、蛤、海参、对虾、梭鱼、尼罗罗非鱼等几十种。1980 年海带产量达 25 万吨，1981 年实行藻贝调整产量尚达 21 万吨，1982 年 21.9 万吨。1982 年紫菜产量达 0.68 万吨,扇贝 0.12 万吨。鱼虾比重逐年上升，由 1978 年占海养总产量的 0.5%，提高到 2%。特别是对虾养殖，80 年代发展较快，1981 年鱼虾和海珍品的养殖面积达到 3.9 万公顷,比 1978 年增加两倍多。

(五)药用海洋生物资源

目前海洋药物的研究就是采用直接从海洋生物中提取药物和以其化学结构作为模式合成药物两大途径。尽管这门科学的历史不长，但由于研究手段的不断改进和现代化分析技术的使用，使海洋药物的研究取得了很大进展，有关海洋药物的论文大量涌现,研究的范围从海藻到海绵动物、腔肠动物、软体动物、环节动物、棘皮动物、脊椎动物无所不包。

海藻是海洋中贮量最大的一类生物，容易采取，而在某些方

http://bbs.3s001.com/

面又可以借鉴陆生植物的研究方法对它们进行研究，因而海藻天然产物的研究进展较快。到目前为止，已从海藻中提取了多种抗生素和毒素。

近年来，很多科学家把药物研究的重点放在从海洋生物中提取抗癌活性物质上。这项研究已取得了可喜的进展。据报道，腔肠动物中的珊瑚虫和脊椎动物中的鲨鱼体内均含有抗癌物质。珊瑚是海洋中最常见的动物之一，它的储量很大，种类繁多，珊瑚礁的面积几乎和地球上可耕地的面积差不多，为人类提取抗癌物质提供了丰富的天然资源。到目前为止，人们已从软珊瑚和柳珊瑚中提取到了抗癌物质。

二、海洋捕捞技术

海洋捕捞是获取海洋动物资源最基本的方式。

在渔捞原理上主要有以下诸法：一是用长片网在水中迅速圈成网墙,把鱼群围住,然后收拢网具底部,缩小围困范围,以达到捕获的目的，这种渔法称为围网渔法；二是用漏斗状的囊网在水中拖曳，把水产动物拖入网中的渔法，称为拖网渔法；三是用长片网基本上垂直拦住鱼的通道，使游泳鱼的鳃盖卡在网孔上或整个身体缠牢在网上，这种渔法叫做刺网渔法（刺网有定刺网和流刺网之分，后者简称流网）；四是设陷阱使鱼陷入后捕取的渔法，这种网具规模较大的有落网、大谋网等；五是用钓钩捕获的渔法，这种渔具以钓钩为主，称为钓渔具，例如有许多钓钩的延绳钓。此外还有掩罩、抄上和炮击等渔捞方法。在远洋渔业所用的渔具主要是围网、拖网、流网和钓渔具。

(一)围网捕鱼技术

http://bbs.3s001.com/

1. 围网渔业发展特点

在世界海洋渔业资源中，中、上层鱼类由于其资源丰富，已是许多国家围网渔业的重要捕捞对象。据联合国粮农组织统计，世界围网渔业年产量约 2 700 万吨，占世界渔业产总产量的三分之一以上，在各种渔业产量中首屈一指。世界海洋中上层鱼类资源量很大，据估计每年可捕量达 6 000 万吨。目前的捕捞量仅接近可捕量的半数，利用潜力很大。现在世界上围网渔业比较发达的国家（如秘鲁）围网产量在以往每年的海洋渔获量中约占 90%，挪威围网产量占年渔获量的半数以上，日本的渔获量中,围网生产占 30% 以上。美国、俄罗斯、智利、丹麦、冰岛的围网渔业都占相当的比重，并不断采取措施，竞相发展，其发展要点如下：

(1) 调查试捕公海鱼类资源　在许多沿海国家 1977 年宣布 200 海里专属经济区后，对公海资源的调查试捕很重视。日本海洋资源开发中心在 1977 年就认为公海水域内，尚有海山、海岭等未开发渔场，应进行基础调查，查明其渔场的分布和生物栖息情况。1979 年该开发中心调配了 19 艘渔业调查船,用 15 种渔法在世界约 20 个海域进行了开发新渔场和新鱼种的调查，取得一定的成绩。在此基础上，1980 年又动用了 19 艘调查船，用十几种渔法，对世界约 19 个海域进行调查,至 1981 年 3 月底全部结束，取得了良好的成绩；特别是在南太平洋西部开发鲣鱼和金枪鱼的远洋围网渔场调查中，取得渔获量超过计划 3 倍的好成绩。十几艘调查船中，2 艘是围网调查船，1 艘是远洋大型围网船“日本丸”(总吨位 999 吨),在印度洋东部海域调查,渔获海鲤鱼、黄鳍金枪鱼共 532 吨(为计划数量的 62.6%)。1 艘是远洋围网调查船“福一丸”(总吨位 499.57 吨),在南太平洋西部

http://bbs.3s001.com/

调查，渔获鲣鱼、黄鳍金枪鱼共 2 040 吨（为计划数量的 403.2%）。

(2) 渔船渔具设备的改进　渔船吨位、功率、航速等有所增大，多建造大型的围网渔船。美国新建的大型围网渔船“Margareel”号，载重 2 000 吨，航速 17 海里／小时，主机功率 5.3 兆瓦。加拿大新建的大型围网渔船，甲板上有直升飞机场。日本新建的大型围网渔船为 1 000 吨级，主机功率 7.6 兆瓦 为了回转灵活和能横向移动，在围网渔船上安装有横向推力装置。这种装置在挪威较为普遍，船首船尾各装一个，包围鱼群时可缩小回转半径，使大型围网渔船回转灵活，网长就可适当减短，而且可以防止在起网时船体陷入网中。

日本研究围网渔船的推进装置改用喷水式，借以减少主机发出的噪音，避免影响鱼群的集中。还试验了用舷墙滚筒起网，滚筒表面是硬橡胶，分为数段，每段 2～3 米，全部滚筒由油压电动机驱动，既可降低劳动强度，又可减少网的磨损。

挪威的围网渔船则采用减摇水箱，借以加强渔船的抗摇性能，减摇效果可增大至 60%。减摇水箱和船体同宽，水线上、下各有一部分，箱内装水或油，箱体大小和位置、液面高度等经试验和计算而定。箱内流体随船摇摆而运动，当流体的重心在船的重心以上时，便起减摇作用。挪威还把起网机和理网动力滑轮构成一整套机组，使起网更为方便。

吸鱼泵多已使用潜水吸鱼泵，吊在取鱼部吸鱼。

渔船建造兼作化，如围拖兼作船、围刺兼作船、围钓兼作船等。甲板机械传动液压化，也是世界围网渔船的一种发展趋势。

2. 围网及其在渔法上的特征

(1) 网形和渔法上的特征　远洋围网是长带形的渔具。在

http://bbs.3s001.com/

海上作业时把鱼群围困后随即把网的下方收拢，并用起网机把网收绞上船，以达到捕捞目的。放网时船围绕着鱼群旋一大圈，因此在日本称为旋网。起网时收绞装附在下缘网下方金属环中的串纲(即括纲),围网使收拢起来,像收拢钱袋口似的,所以英美称这种网具为钱袋网。包围鱼群是围网渔法显著的特征。

围网是‘运用渔具’(即非定置渔具)中规模最大的渔具。其特点是网大、渔获多。以金枪鱼为捕捞对象的围网，长 1 500～2 000米,高 200～250 米;以沙丁鱼等为捕捞对象的围网,长 500～800 米,高 50～100 米。一网能围捕数百吨至上千吨渔获物。我国在 1976 年就出现过一次围捕 1 000 吨的高产记录。

(2) 捕捞密集成大群的鱼类和头足类　围网的捕捞对象原来只局限于捕捞成群的中、上层鱼类，而近几年随着现代化扫瞄声纳的使用，已能扩大捕捞近底层的集群性鱼类。在被开发的地方渔场，则以跟踪浮水的鲣鱼和金枪鱼鱼群为捕捞对象。

(3) 生产技术水平要求较高　探鱼技术和捕捞操作水平的好坏是捕捞生产成败的关键。随着现代水声电子技术、遥测技术等在渔业上的应用，探测和捕捞的技术水平已有很大的提高。

3　渔船与网具结构

(1) 渔船及其结构　太平洋沿岸国家，单船机轮围网以美国为早，技术较为先进。日本的单船围网，无论 100 吨级上下的和 1 000 吨级的，都是参照美国式的。 100 吨级者可以单船作业，也可以组织船组。例如，100 吨级的网船 1 艘和灯船(45 吨) 2 艘以及运输船(150～450 吨)3 艘组成船组后出渔于外海、远洋渔场,一次出航 25 日,均在夜间作业,在月圆前后的 5～6 日回港休息，所以这种围网渔船，可说是小型的远洋渔船。

1000 吨级的远洋围网渔船的渔场远达南太平洋岛屿海域、

http://bbs.3s001.com/

东太平洋海域以及非洲西部海域。

大中型围网渔船的结构特征是:钢质、焊接、横骨架式、船尾有网台，网台前方为捕捞作业甲板，甲板下即鱼仓，轮机室在船中央的前部。驾驶室和驾驶台的轮机室上面，在驾驶室和驾驶台可借“远隔操纵装置”操纵轮机室的主机。前后两桅，前桅上设瞭望台，供观察鱼群；后桅装有起网吊杆和起重吊杆，供吊网吊鱼等用。

配备的渔船设备有：冷藏设备，渔获物采用装箱加冰保鲜，储藏于 -2～2 ℃的冷藏鱼舱内；渔捞设备，有液压围网底纲和上纲机各 1 台，40 吨液压动力滑车，口径 200 毫米吸鱼泵 1 套和起重设备等，还有液压舵机、液压泵等;无线电通讯、导航、助渔设备，有垂直探鱼仪、雷达、定位仪、电罗径、船用短波发报机等。

(2) 网具结构　远洋金枪鱼围网，渔船为 1 000 吨级者，网长达 1 200 米，高达 120 米上下。网呈长带形，无囊，起网使鱼集中在“取鱼部”(或“捕鱼部”)时，其周围的网保持围困状态，自然形成囊状，由许多长带形的网片组合而成。有两个“取鱼部”和一条“切带”。因面积大，能围捕鱼的数量和鱼的活动能力也大，所以有两个取鱼部，渔获在 100 吨以上时，可把鱼分隔在两处，从两个取鱼部捞鱼入舱。近中段处，缝入“切带”，这是它不同于一般围网之处。“取鱼部”旁的身网称为翼网，取鱼部在网的一端者，称为单翼无囊围网；取鱼部在网的中段者，称为双翼无囊围网。由于网的上、下边缘因较易损坏，所以都有较粗的线结成的缘网，以资保护。这种带状的长方形网，其短边称为网的两端或两侧。两侧网线较粗的缘网称为侧网。浮子方包括浮子纲(上纲)、浮子、结在浮子纲上的小金属环(称为串环)和贯穿“串环”的短绳等，是为了防止浮子纲沉下水面而设置的。沉子

http://bbs.3s001.com/

方包括沉子纲（有沉子时也包括沉子以及结在沉子纲上的底环纲、底环）和括纲。沉子纲是铁链，底环纲也是铁链，但较细小，穿环是金属制品，其重量有沉子的作用。括纲在包围鱼群后抽闭网底，阻止鱼群从下方逃走。凭借浮子方的浮力和沉子方的沉降力，使网在水中能保持站立，略如围墙。浮子纲和沉子纲使网具定形，也是赖以操作围网的结构。从网图上可知网和纲的长度不同，网长而纲短，缝合时必需把网缩短，网目才能张开而有良好的网形。

4. 围网捕鱼技术

（1）鱼群侦察　寻找鱼群是捕捞生产的第一步。根据历年生产经验、资源调查和预报，渔船到渔场后可用目测、探鱼仪测、直升机在空中侦察等方法找鱼群。围网渔船在船桅有瞭望台，观察员可攀登台内，纵目远望或用望远镜环顾海面，仔细观察有无波形异常或色泽异常之处。在夜间则观察海面有没有发出荧光之处。

除目测外，可用探鱼仪探测鱼群。鱼群在水面上较深处集群时，目测无能为力，探鱼仪便成为深测鱼群的重要工具，在垂直探鱼仪和水平探鱼仪的配合下，使围网发挥更大的捕捞作用。

此外，可用飞机侦察和其他侦察方法。用直升飞机侦察鱼群,侦察高度大,可在 100 米以上侦察,因而侦察范围也大,效率高。还可采用空中彩色摄影、多光谱摄影等新技术侦察鱼群。我国在 1959 年夏和 1977 年夏先后在黄海中部进行过飞机侦察鱼群的试验。在飞行高度、速度、气象等符合侦察条件时，瞭望员能用肉眼看到海面的鱼群。在第二次试验时使用了航空照相，对海上鱼群和作业船只等进行空中摄影。还用航空红外线测温仪测了海水的表面温度，这对中上层鱼类的渔场分布和海

http://bbs.3s001.com/

况渔况分析和预报都有参考价值。因为水温对鱼类的行动和作为饵料的小型生物的分布等有很大的影响。各种鱼类有它适温的范围，如鲐鱼的适温范围是 11～24℃。当表层水温在 11℃左右时开始群集到表面，称为起群，16～18℃时起大群，超过 24℃时起群基本结束，所以水温是在鱼群侦察上的重要依据。

(2) 捕捞技术　围网除捕捞群集于水面附近、肉眼能观察到鱼群外，亦捕光诱后集结的鱼群以及集结于较深水层借探鱼仪控知的鱼群。

放网前要做好准备工作。放网的起点要在离鱼群 30～80 米处，兜圈包围鱼群时保持在鱼群外围。放网前把船尾网顶上的小船(称为带网头船)放在水中，这小船和网的一端用绳索(称为拖绳）系牢。我国现在的围网，把括纲引索和网头绳都交给小船，用弹钩钩住在小船上。国外则在括纲的一端用绳索（引索）系在浮子方。

放下小船后就开始放网。围网船前驶围鱼时，预先堆积在船尾的围网，因其一端系在小船上，借小船的拉力而卸入海中。网入水后的阻力亦使网不断卸下。当网放出约三分之二时，网船改用慢车，一面继续放网，一面逐渐靠拢小船，包围鱼群。如果网全部放出后尚不能靠拢小船，就要放出在网端的纲绳，此纲称为跑纲。网船靠拢小船时，小船把系在网端的绳索交给网船，网船就准备起网(图 17)。

放网时要考虑风和流的关系，避免网船在风和流的作用下，把一部分网压在船底下，影响正常作业。一般在网和流方向相同时，风小于流则顺风放网，风大于流则迎风放网。风和流方向相反时，风大主要考虑风的影响，流大主要考虑流的影响。风和流成一定交角时，则迎着风和流的合力方向放网。

http://bbs.3s001.com/

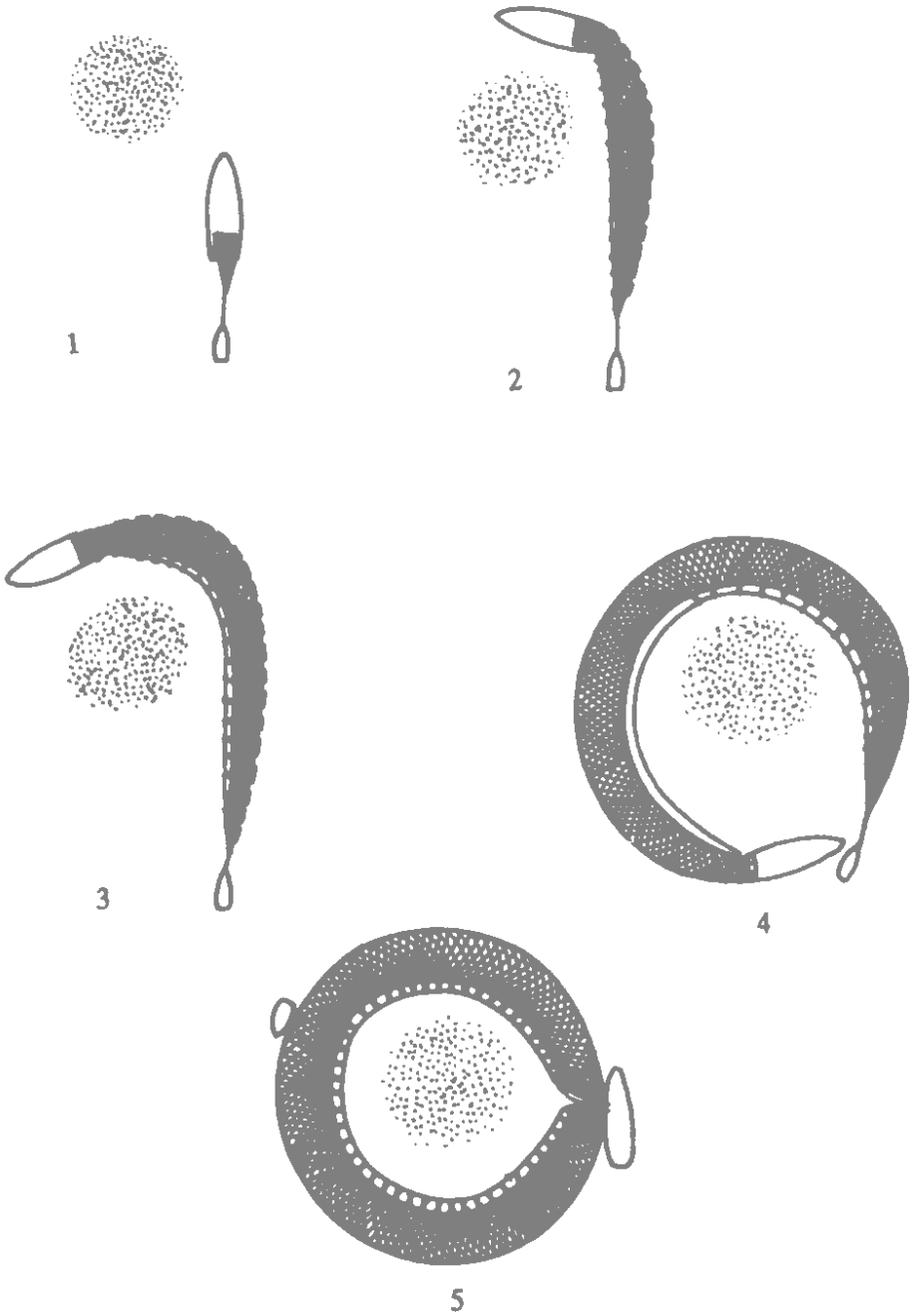


图 17　围网渔船放网围鱼示意图

1－开始放网；2～4－包围鱼群；5－放网完毕，收绞括网，封闭网底

围捕灯诱鱼群时，要考虑灯船在风和流的作用下会漂流移动位置。主灯船在网圈内的位置要离围捕的合口处远一些，约在网圈直径的三分之二处，以防鱼在网尚未闭合时逃出。

http://bbs.3s001.com/

围捕瞄准捕捞鱼群时，放网起点的选择是以标志鱼群位置的浮标来考虑确定的。

放网速度和括纲沉降速度成反比，即放网速度快，则括纲沉降慢;反之,放网速度慢,则括纲沉降速度就快。因此,放网速度应视鱼群情况而定。对起水鱼群，应快速放网；对光诱鱼群，因它比较稳定,可采取中、慢速放网,但在水深 30 米以内海区,也可快速放网。瞄准捕捞时，放网快慢依当时情况而定。放网将终,驶近小船时要停车,借余速靠拢小船。

网船接收小船交出的绳索后，把前网头固定在船首系缆柱上，把后网头固定在船尾系缆住上，开始起网。把括纲的两端通过船侧支架上的滑车和导向滑车引向两个绞车，接着开动绞车，绞收括纲，闭合沉子方的网口。绞收到底环全部集中的船侧支架下，继而用吊钩把底环全部吊上，放好后，解开括纲中段的连接器，把括纲从环中拔出。然后把网逐段收上，直收到只留捕鱼部在海中，这时鱼集中在捕鱼部，使可用抄网抄吊上船或用吸鱼泵吸上。然后把在海中的网（捕鱼部）全部收上。在逐段收网的同时，将网整理安置在船尾网台上。做好下一次放网捕鱼的准备工作。

在围捕‘起水’鱼群时,放网后应立即绞收括纲,但在瞄准捕捞水层中的鱼群时，放网后应等待围网完全沉降，围住鱼群后，再开始绞收括纲，否则围网往往在鱼群的上方水层中锁口，造成空网。

(二)拖网捕鱼技术

1.拖网渔业发展特点

拖网的创始一说是在 17 世纪创始于英国巴尔，一说是在法国布里克萨姆。1835 年左右才由布里克萨姆的渔业者把它输

http://bbs.3s001.com/

入英国，其后传到哈尔和格里姆斯比港。开始是帆船横桁拖网，1865 年法国水产公司首先有汽船拖网渔业，英国在 1882 年才采用汽船拖网。1888 年，丹麦人使用网板，其后各国渔业工作者逐步改进网板结构及其和网的连接，到 20 世纪才有了现在的 V.D.式拖网。自 19 世纪以后 60 年之间，这种用网板的拖网渔业在世界各地，尤其是在欧洲占重要地位。并且船的设计、装备、渔具、渔法都趋向标准化。

第二次世界大战后不久，英国海军的技术人员组成一个小组，设计装备有冷冻、鱼粉厂等加工厂的、能长期在海上作业的拖网工船。为了有舱位安排厂房，采用了两层甲板。这样，原来在船侧投网和起网就有困难，于是采用捕鲸母船的船尾滑道，从船尾投网和起网。在此基础上，1954 年英国萨洛培生公司建成 1 艘 2 600 总吨，主机 1.4 兆瓦、两层甲板、有渔获物处理设备(包括冷冻、制罐头食品、鱼粉厂等)的工船，一次出渔可长达数月，效果显著，为渔业界所注目。该船完成了工厂化拖网的设想，在渔业史上是划时代的拖网渔船，不但渔获效率好，而且在天气不好时对船员的安全也较有保障，造价虽比没有工厂设备的拖网船高，但经济上还是合算的。

1956～1957 年，联邦德国以上述工船为借鉴，建造了 3 艘总吨位 600～800 吨、以冰藏和盐藏为主体、也有一部分冷冻装置的中型船。其后西欧各沿海国家陆续建造中型到大型的艉滑道拖网渔船。

自 1955 年开始，前苏联根据其增强海洋渔业的七年计划，大量建造 2 500 吨级的“普希金”型艉拖网船，到 1965 年 170 艘。其拖网船队已遍及世界诸大洋，渔获量名列世界第二，仅次于日本。

http://bbs.3s001.com/

西班牙根据 1961 年末的《渔船队再建增强法》急速扩建近代化渔船队，出渔于北大西洋和非洲沿岸，1965 年渔获物价值名列世界第五位，仅次于日本、前苏联、中国、美国。

荷兰和东欧诸国也在增强拖网船队。韩国也有远洋拖网渔船到南太平洋和印度洋阿拉伯海捕鱼。

日本在 20 世纪初受英国兴盛的拖网渔业的刺激，1904 年开始建造 1 艘 152 吨的木质蒸汽机拖网渔船，1908 年长崎市仓场富三郎向英国购买 169 吨级的钢质蒸汽机拖网渔船，这是日本最早的钢质拖网渔船。该拖网渔船除请英国人福德为渔捞长之外，还请了两名英国渔工，可见其引进拖网技术的决心是很大的。到 1913 年，日本的拖网渔船达 142 艘。继而受第一次世界大战的影响，1917 年日本拖网渔船大减，仅剩 7 艘。1918 年日本的《渔法管理规则》规定拖网渔船以 70 艘为限，并规定拖网渔船的吨位需要在 200 吨以上，最大航速力 11 海里／小时以上，续航力为 2 000 海里。1925 年引进 V.D.式拖网后，渔获量增大。1934～1935 年 650 吨级的内燃机拖网渔轮出航，以日本本土为根据地，出渔于南海，或者以新加坡为根据地，出渔于澳洲近海，还能出渔于墨西哥沿岸。1936 年，日本还和阿根廷联合设立渔业公司，以阿根廷的首都为根据地，作业于南美东岸的南大西洋渔场。其时，日本的拖网渔船多数是 300 吨级，使用上纲（浮子纲）30.48 米的拖网。50 年代在欧洲相继效法英国建造大型拖网渔船的影响下，1955 年 8 月建成的东京水产大学练习船“海鹰丸”首先采用艉拖网舾装。1957 年大洋渔业公司的总吨位 1 489吨的大型艉滑道拖网渔船“大洋丸”竣工。继而日本水产公司于 1959年建成 2500 吨级的，其他日本公司多建 1 500 吨级的远洋拖网渔船。其作业范围除上述以外，还以非洲南端的

http://bbs.3s001.com/

开普敦为基地，活跃于非洲外海。日本在南方海域的远洋拖网渔船多为 500～2 500 吨,在北方海域作业的远洋拖网渔船,大型者多为 2 500～3 000 吨的工船式拖网船,航速 11～13 海里／小时,每航次 2～4 个月，额定船员（包括工厂人员）80～100 人。还有更大的 4 000～5 000 吨的工船式拖网渔船。所以，现在日本 300～5 000 吨级远洋拖网渔船,包括北转船(规定在北纬 55° 以北,东经135°以西捕鱼的单船拖网渔船)在内,总数近 300 艘。

总之，随着科学技术的进步和捕鱼范围的扩大，世界拖网渔船的吨位也逐步大型化。

应该指出，远洋拖网渔船的大型化是与装备现代化导航、助渔仪器分不开的。先进渔船一般装有雷达、劳兰、电罗经、自动操舵装置、探鱼仪、网位仪、计程仪等等。探鱼仪已能探测 2000 米水深的鱼类情况，水平探鱼仪可探测纵横数千米范围内的鱼群。还有利用飞机、红外线等探测鱼群的。原来拖网在 200～300 米水深的渔场捕鱼，由于科学技术的进展，现已能在水深 600～700 米处进行底拖网作业。近年还有试制的深水拖网，已能在 1 200 米深的渔场捕鱼，1 500 米以上深度的拖网也在试验中。拖网的网目也适当加大，尤其是在翼网和网口处。原来拖网网目一般为 80～100 毫米,但现在大网目的网具,网目在 800～1 200 毫米。各种合成纤维制成的网，由于其牢固而不腐烂、滤水快等优点，能满足巨大拖网船的要求，这也是一项重大的革新。

由于新型拖网渔船上装备有现代电子仪器，船长可凭借这些仪器测定船位，即使在浓雾或黑暗的夜间，也能正确测定渔船的位置，并能正确地驶到被探鱼仪探知的鱼群上方，将鱼拖入网中，保证了渔获量的增产。

http://bbs.3s001.com/

2.拖网捕鱼技术

拖网以底层鱼类为捕捞对象（中层拖网例外），其拖网示意图见图 18。拖网船到渔场后用探鱼仪探测或直接下网试捕。

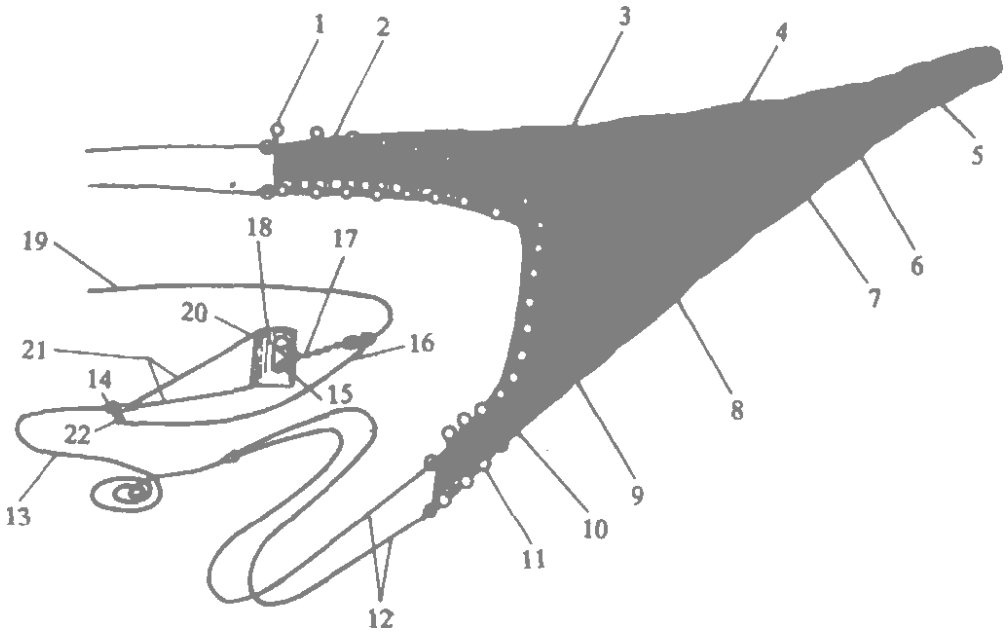


图 18　大型拖网示意图

1－浮子；2－浮子纲；3－天井网；4－背网；5－囊尾网；6－囊头网；7－侧网；8－腹网；9－三角网；10－翼网；11－钢滚球；12－翼网悬纲；13－手纲；14－“8”字环；15－网板支架；16－游纲；17－拖引链；18－网板支链；19－曳纲；20－网板；21－网板悬纲；22－丁字铁

下网前要根据天气和海洋情况确定拖曳方向。一般是顺流顺风放网拖曳。先将两翼网分别放置在船尾部网台左右两侧的甲板上，浮子纲在上，沉子纲在下，天井网、身网和囊网顺序折叠在网台中央，囊网叠置网顶，然后连接各部件，把两舷的手纲从拖网绞车的卷筒中抽出，通过船尾两舷的导向滑轮、网板架上的悬吊滑轮和网板叉纲（即网板悬纲）的“8”字环，用衔扣和转环与上、下手纲前端的铁撑架相连接，手纲的另一端和游纲用衔扣相

http://bbs.3s001.com/

连接。船长在驾驶台掌握下网方向，准备发出下网命令，大副在船尾指挥下网工作，渔捞长和一级渔捞员掌握卷扬机，放松手纲和曳纲,其余渔捞员在船尾甲板上,根据分工,各就各位,待命下网。

下网时船首向着拖网方向，正舵半速前进，船长命令下网。船员听到下网命令后,先将囊网投入海中,囊头网、背腹网、天井网、翼网相继被抛入海中，然后放出手纲。手纲放到尚余 30 米左右时停车，借余速前进，将全部手纲松出。同时将曳纲上的中心环和网板上的中心钩相连接，然后绞起网板，解脱固定在网板上的绳索和挂钩，使网板从网板架脱出，待网口正常张开后快速投放网板,放出曳纲 30 米后暂停止放出，待网板正常扩张后继续放出曳纲，到预定长度为止。刹住拖网绞车，开始曳网。

拖行时应注意航向和曳纲自船尾到水面所成的角度等，拖曳时间为 2～3 小时。

起网时半速前进，同时收绞曳纲，船首逐渐转向顺风或顺流。当网板将出水面时减低绞速，较缓慢地把网板绞至网板架，用网板挂钩挂上网板，然后将中心环(G 字环) 自中心钩内摘出，使网板不妨碍继续收绞游纲连接的手纲，直到翼网和天井网绞上甲板。翼网和天井网绞到甲板后便进行吊网，借桅顶滑车和甲板上的绞车，把囊网从船尾吊上甲板。当渔获物多时，则右(或左)满舵,倒车,将囊网由右(或左)舷吊上来,抽开囊底括纲，卸出渔获物。

艉拖渔船受风、流影响小，灵活性大，小型艉拖渔船可作为围网的兼作船，也可兼作对拖渔船。大型艉滑道渔船能到远洋、深海作业，产量和机械化效率都很高

http://bbs.3s001.com/

(三)刺网捕鱼技术

1.刺网渔业发展特点

刺网是带状的矩形网，两长边的上边结浮子而下边结沉子（或下边不结沉子）。投网后借网重垂挂水中，遮断捕捞对象的游泳通路，并使其刺挂在网目上进退两难而被捕。依网片的层数,有单层、双层、三层刺网之分;依捕捞方式,可分为定刺网、流刺网、围刺网、拖刺网和狩刺网 5 种。一般远洋渔业的刺网是定刺网和流刺网。

刺网的捕捞对象以比较分散的洄游鱼类为主。刺网的捕捞技术比较容易掌握。这种渔具对各水域的适应性大，渔获的个体比较整齐,也较大,而且质量好,有利于资源保护,可以常年作业，并可作为拖网渔业、钓渔业等的兼作渔具。

美洲太平洋沿岸的鲱鱼，主要用刺网捕捞；挪威的渔获物中，鲱和鳕占首要地位，而刺网则是捕鲱鱼的重要渔具；英国的鲱鱼刺网渔业，仅次于底拖网渔业。刺网中以流刺网为主，定刺网较少。流网一般与拖网轮作。流、拖轮作的混合式渔船（100～200 吨级),在鲱鱼汛期(1～6 月)结束以后,随即改营拖网生产。在通常的情况下，40～50 吨级的流网渔船对鲱鱼采取跟踪捕捞的方法，活动于英国四周的海面。日本的刺网渔业发展较快，捕捞对象很广泛，除了捕捞鲱鱼以外，还捕捞鲔鱼、金枪鱼、鲛鱼、鲷、鳕、大麻哈鱼、飞鱼、沙丁鱼和虾、蟹等。20 世纪初开始有远洋汽船流网渔业（英国式）。1910～1930 年的 20 年间，日本动力渔船激增，动力船数约占渔船总数的 83%。1950 年，日本母船式大麻哈鱼流网的母船减至 10 艘,其附属渔船数则反而有所增加,发展到 332 艘。1959 年,在鄂霍次克海,母船式大麻哈鱼流网渔业全被禁止。在纬度 48°以南海区允许作业的大

http://bbs.3s001.com/

麻哈渔船为 289 艘。在日本海的大麻哈鱼流网渔船，1949 年为 94 艘，1950 年为 144 艘。总之，世界流网渔业在开发利用中层渔业资源方面，将日益发挥巨大的作用。

2 刺网捕鱼技术

远洋刺网渔业,多采用流刺网,其次为定刺网。

(1) 流刺网捕鱼技术　流网作业时，先把一张张网用粗缝合线连接成一列，并在缝合处用绳结在张纲上，并结附浮筒和浮标等。浮筒和浮标绳的长度，视鱼类活动水层的深度而定，把网叠放好，浮子方和沉子方各放一边，对机械设备也要进行检查，保障安全操作。同时要根据风和水流情况，确定投网的方向。

鱼类随着黎明和傍晚光线的变动，活动量较大，因而较易上网。所以，放网最好在黎明和傍晚以前，但也有潮流较缓时投放的，因网在流缓处的倾斜小、高度大，即阻拦鱼类通道的面积大，有利于提高渔获率，同时操作也比较方便。

网在水中，以横断水流、拦阻鱼类通路为原则，所以放网一般是横流顺网放网。风大流小时顺风在上风舷放网；流大风小、风流方向不同时，以横流浪放网，以波浪式为宜。

投放流刺网时慢速前进，渔船主机开慢车和停车，借余速前进，时开时停，直到把网放完，把张纲系在船首柱上。于是停止航行而随风漂移。

漂流是等待鱼虾自投罗网，也称“待网”。漂流时间自放网完毕到开始起网为止。

机船放网和起网都自潮上向潮下，可以不考虑风向，但风浪大时应顺风放网和顺风起网。风不很大时也可顶风慢车起网。简单的起网操作，可用拉绳式起网机把网拉上；复杂的或设备较

http://bbs.3s001.com/

完备的,可用起网滚筒、转盘式夹爪起网机、抖鱼机、理网机等整套起网机械化装置。

近年来，国外的流刺网起网机种类很多。有的直接用滚筒起网；有的用普通的起网绞车和起网滚筒配合起网；有的用槽轮式起网机，这种起网机用槽轮间两块硬橡皮的摩擦力来拔起流网的上、下纲,以达到起网目的。

（2）定刺网捕鱼技术　　定刺网作业方法可参考流刺网，只是定刺网固定在一定地点，其固定方法可用打桩或抛锚，深海都用抛锚。

(四)海洋捕捞技术的进步

高新技术在海洋捕捞上得到了最大限度的应用，从卫星遥感到现代通信技术，都无一不在海洋捕捞中得到了应用。

渔船普遍扩大，装备了更有效的渔具和导航设备，航速快，捕鱼能力增强。拖网现在采用计算机辅助设计，其性能可在水槽中进行测试；鱼网采用高强度合成纤维等新材料制造，助渔器具——水下观察器安装电视摄像机，可观测鱼对拖网的反应，有助于改进网具的设计和操作。

电子技术已使找鱼、鱼群侦察和识别等过程发生根本性变革，盲捞已减少到最低限度。船用传真机可使渔船接收到不同类型的天气图和海洋预报图。美国定期发布显示流隔和涡流位置的湾流海域卫星图像，渔民利用此图可打到箭鱼及其他中上层鱼类。计算机提高了鱼群探测与深度测量仪的可靠性和稳定性。使用该仪器，根据颜色就能识别海底性质，区分鱼种，并提供出有关水柱中鱼群位置和密度的数据。渔网还可安装扫描声纳、多卜勒声速仪、张力仪和压力传感器等，实时监控网具。这些设备可以观测到网具周围的鱼类，甚至能数出进入网具鱼的

http://bbs.3s001.com/

数量。计算机组合系统已成为确定捕鱼方法的常用器具。例如：在围网渔业中，计算机系统可监测鱼群游弋的速度、方向和位置，并计算出渔船捕鱼的适当网位和渔具位置；电子装置除提高捕捞效率外，还极大地改善了渔船导航、通信和安全保障的状况。

当前，捕捞技术正朝资源最佳利用的方向发展，具体包括：设计出以保护资源为目的的渔具，改善鱼个体与鱼种的选择性，减少非捕捞的死亡，最大限度地减轻对动物生境的破坏；发展可提高产品质量的捕捞技术，充分利用捕捞量；减少能源消耗，降低生产成本等。

三、耕耘蓝色的田野

海水含有丰富的营养，就像我们耕种土地一样，在海水中我们可以同样耕耘、收获，这就是海洋农牧化，就是大有可为的海水养殖业。

(一)海水养殖业的基本情况

联合国粮农组织最近指出：“水产养殖已成为世界上增加水产品来源最迅速的方式。”1966 年世界水产养殖产量为 100 万吨，1979 年为 800 万吨，1989 年达到 1 320 万吨。

80 年代，我国海水养殖业的发展迅速。1989 年养殖产量为 157.6 万吨，占海洋捕捞产量的 31%，海水养殖品种已达几十种，海水养殖产量在 10 万吨以上的种类有贻贝、海带、对虾、蛏和扇贝。养殖产量中，经济价值高的鱼、虾、蟹比重逐年上升，由 1978 年占海养总产量的 0.5% 上升到 1989 年的 12.1%。海水养殖技术也不断提高，人工育苗和筏式养殖技术的实施，使海带

http://bbs.3s001.com/

养殖得到迅速发展。遗传技术的应用，改良和培育了若干海带新品种，使海带单位面积产量提高，含碘量增加。立体养殖法的实施既为鱼虾提供了一个良好的栖息环境，又充分利用了水体。

海洋水产资源增殖是近年发展起来的新产业，有关单位在我国不同海区进行了不同形式的增殖实验。目前，我国沿海增殖放流的渔业资源品种有梭鱼、黑鲷、真鳃、牙鲆、黄盖鲽、石斑鱼、大黄鱼、三疣梭子蟹、海蜇、牡蛎、扇贝、海参、鲍鱼和对虾等20多种。据统计，1984～1990年，全国近海海域共增殖放流对虾苗210多亿尾，约回捕对虾4万多吨，产值达10多亿元，出口对虾2万吨，创汇2亿多美元，取得了明显的经济效益、社会效益和生态效益。对虾放流的回捕率达7%～10%，投入产出比为1∶10。

据专家估算，我国浅海滩涂适养面积为133.3万公顷，但目前仅利用了30%。目前，海带、紫菜、对虾和海参等品种的人工育苗和养成技术已有一套成熟的经验，从技术到设备已初具规模，而且一些与其相配套的新型产业也在逐步形成。如辽宁省海洋水产研究所研制的微囊饵料，其性能基本符合对虾育苗生产的要求，这种饵料完全可以代替单胞藻、轮虫、卤虫、豆浆、蛋黄等饵料。仅以卤虫卵一项比较，使用微囊饵料的费用只是卤虫卵的1/4或1/5。按育1亿尾虾苗计，如投卤虫卵需花费3万元，此外，还需要单胞藻、轮虫、豆浆和蛋黄；而用人工合成饵料，试验表明，在育成0.7厘米仔虾以前用微囊饵料60千克，需花费3 600元，以后用微颗粒饲料180千克，需经费3 600元，总计仅为7 200元。尽管在完善研究最佳营养配方等方面尚需作进一步探计，但是这一新兴产业见诸工业化已为期不远，这无疑将会大大推动海水养殖业的迅速发展。

http://bbs.3s001.com/

据专家分析，若采用生物工程改良和选育生长快、抗病力强、饵料转化率高、肉质好、可密集养殖的新品种，海水增殖、养殖业将会获得飞跃性的发展。日本应用生物工程已培育出一年二次产卵的虹鳟新品种。科学家们还设想将鲑鱼基因移到金枪鱼脑细胞内，使金枪鱼具有季节洄游特性。我国科研人员正在利用生物工程方法研究对虾的全雌养殖。雌虾的个体大于雄虾，利用生物工程方法使雄虾发生性转变，全部变成雌虾，如果这项技术获成功，养虾单产和质量将大幅度提高。专家们认为，到 2000 年，实现我国海水养殖产量达到 300 万吨的目标是大有希望的。

根据我国海域广阔、人口众多、人均耕地少的特点，今后应加强海洋生物工程的研究，培育出更多更好的海洋生物新品种，使海洋成为我国人民重要的蛋白质来源。同时还应加强海水增殖、养殖的前期研究工作，摸清我国海域各种生物的资源量、食物网结构和各种生物的最大增殖量等，为今后进行大规模多品种增殖奠定理论基础。

我国的海带养殖已具规模，加工业已获得长足进展。然而，海藻的资源量很大，与海洋的开发潜力相比，还只是利用了沧海一粟。德国培育出了一种生长期只有两天的海藻，蛋白质含量高达 55%。在 1 米^2 水面上生长的这种海藻，可以提取 2 千克粗蛋白，等于 4 米^2 大豆种植面积提供粗蛋白的数量。开发海藻资源已引起许多国家的重视，美、日、俄等国正在进行这方面的研究。

我国的海藻繁殖工作已取得了较好的效果。从 50 年代末开始，中国科学院海洋研究所和山东海洋学院（现青岛海洋大学）合作，应用遗传技术进行海带育种工作，60 年代初期选育了

http://bbs.3s001.com/

几个优良海带品种用于生产；70 年代山东海洋学院进行海带单倍体的遗传育种工作，选育出一个新品种，推广养殖。可见，在海洋农牧化中应用遗传技术，已获得一些成果。但就其广度和深度而言，这种应用还是很有很的。如果在我国 1/10 的浅海水面发展海藻业，就可生产 2 500 万吨粗蛋白，相当于 0.53 亿公顷大豆种植产量。显然，海藻养殖业和与其相应的加工业的综合发展，将成为人类蛋白质的重要来源。

在海水养殖技术方面，有很多方面创造了世界奇迹。我国科学工作者主要以种苗培育、遗传育种和养殖技术为突破口，50 年代取得了海带自然光低温育苗、筏式全人工养殖、施肥养殖、高产高碘新品种培育、海带南移等多项成果，极大地促进了我国海带养殖业的发展，其中海带南移是中国养殖史上的一大创举。

60～70 年代初期，紫菜(坛紫菜和条斑紫菜)丝状体集中成熟和壳孢子集中放散人工采苗工艺与养成技术，是我国取得的一项重大突破，它促使我国紫菜养殖成为继海带养殖后的第二大海藻养殖业。

80 年代，渤海中国对虾亲虾培育、育苗用水处理、水质环境控制、幼体饵料培养等对虾全人工繁殖关键技术获得突破性进展，使我国对虾人工育苗跃入世界先进行列，满足了对虾养殖和放流增殖对虾资源的生产需要。

此外，贻贝、扇贝、海参、鲍鱼、牡蛎、梭鱼、鲷、河鲀、牙鲆等主要经济水生动物种类和海湾扇贝等引进种类的人工育苗成功，为发展我国海水养殖做出了贡献，发展了我国海水养殖（栽培渔业）技术。

(二)海洋农牧化工程技术

现代海洋农牧化工程技术是一种高投入、高产出型的人工

http://bbs.3s001.com/

生态经济系统和海洋生物资源开发相结合的工程技术。它包括海洋生物技术、机电一体技术、新材料技术、环境工程技术、信息技术在内的目标生物的资源生产控制管理技术，目标渔场的环境控制技术，资源生产的支持技术等三大类系统技术。通过这些高新技术的开发和应用，促进海中天然饵料生物的生长和发育，解决苗种培育、生产和管理技术，达到科学合理地捕捞海洋生物资源。目前，海洋农牧化工程技术受到许多国家的重视，发展很快。例如，日本实施的海洋农牧化工程，已基本实现苗种企业化生产，每年增养殖产量已超过 130 万吨。

1. 资源生产控制管理技术——人工鱼礁的建设

人工鱼礁场是经人工模仿自然又以高于自然的人为工程，是对珊瑚场、礁群鱼场的模仿和完善，并创造出超过天然系统的高产效应，是人工仿造的高产渔场。人工鱼礁多种多样，依形状而论，有正方型、五角型、八角型，单体高达 5～7 米，空间容积 130～225 米^3，重 22～24 吨，多种形状的组合鱼礁，最大高度为 10.5 米，空间容积 423 米^3，重 68.25 吨。依在海中所处位置分类，有沉鱼礁和浮鱼礁两大类。建礁水深一般 3～40 米。日本建礁水深已达 60 米。

因为人工鱼礁的设置是一项永久性的基本建设，所以要求它的设计和构件既合理又标准。即要符合捕捞对象、诱集对象的生活习性，又要符合人工建筑物的原理。而构件的标准化、系列化，可使人工鱼礁的建设施工容易、组装方便。日本自 1958 年研制成功组合式大型鱼礁以来，已有 70 多家厂商生产多种材料和多种结构、型号的鱼礁。1989 年，日本研制成功一种新型人工浮动鱼礁，它装有光纤水下照明装置，用于诱集鱼群 装有各种声纳，用于监测鱼群活动 还装有测量海水温度、盐度、海

http://bbs.3s001.com/

浪、风等的设备，并能随时把信息传输到岸上。目前，日本计划用 10～15 年的时间，在沿海建成 5 000 千米长的人工鱼礁带，使日本海洋水产品产量达到年产 750 万吨。

2. 目标渔场的环境控制技术——人工控制环境工程

人工控制环境工程是指通过人造工程，使海洋环境适合海洋生物的生存成长，保障生物资源的稳定生产。这是借助于工程技术手段来调度海洋的动力作用，实现对渔场的控制。例如：为改善水质进行的开挖水路工程、湾口改造工程、疏浚水道工程等，用以调节海水交换；为促进水体混合进行的涌升流工程、破温跃层工程等 为控制水流，就要有突堤、导流堤、丁坝、开沟和循环流工程 为控制波浪，要有防波堤、潜堤、浮消波设施等 为改善底质，要有覆土、耕耘、疏浚、治沙、清扫礁石、清除海底污物等工程。所有这些环境工程，都能用于改善环境，控制生物资源的有效开发，起到稳定生产的作用，保障海洋牧场的生产效益。近年，日本提出一项向海水输送阳光的工程计划，即用光导纤维把阳光输送到悬浮在海下 10 米、容积为 1 000 升的透明容器内，在里面种植小球藻，为鱼类创造一个觅食的环境，形成一个由人工控制的海洋生物链。

3. 海洋生物资源开发的支持技术—— 海域遮断工程

在自然海域中，人为控制鱼群行为的技术有遮断、诱导、滞留养殖三大类。其中遮断工程就是用隔栅将海洋牧场隔开。过去采用网具作为隔栅，但由于网孔小，海洋生物易附着网孔，妨碍海水循环。后来采用声、光、电这些不影响海水自然循环的无屏障形式。以声音和光源作为屏障，鱼类容易习惯，效果较好。目前，国外开发的电屏栅是一种三极二位电位形式的结构，它只适于小规模海洋牧场。这种电屏栅全长 20 米，呈半球型，它既

http://bbs.3s001.com/

可阻止放牧鱼外逃以及外敌鱼入侵,又不损坏自然海水循环,是海洋牧场一种较理想的遮断工程技术。另外，设计的电屏栅还具有用电源进行反馈的自动控制功能以及间断屏障特性的程序控制功能。1991年,日本研制成功用直径 2～4 毫米的钛丝编制成的网栅，它在大型海水养殖场用作隔离网，具有耐海水腐蚀、不污染环境、海草和贝类不易附着生长的特点,在不喷涂防锈剂的情况下,使用寿命可达 15 年。

四、新药物开发的处女地

海洋生物含有大量的生理活性物质，有许多对人类的疾病有显著的疗效，已经开发和正在开发的海洋药物必将给人类带来福音。

初步调查表明，我国有药用海洋生物 700 多种，贮量丰富。已开发和研制了许多经济价值和药理价值很高的海洋药物，如角鲨烯、刺参粘多糖、海星代血浆、藻酸双脂钠、河豚毒素、蛤素、鲎试剂等。治疗心血管和癌症的海洋药物受到了特别重视。从海绵中提取的角鲨烯、从刺参中提取的粘多糖、从贝类体中提取的蛤素等都有较高的抗癌活性。从珊瑚体中提取的强心剂以及从褐藻中提取的藻酸双脂钠都有降脂降血压的疗效。但是目前大部分具有药理和生物活性的海药都处在实验室研究或临床实验阶段，都有待进一步研究和开发。

未来海洋药物生产主要向三个方面发展：

(1) 抗癌和抗心血管病海洋药物的生产　心血管病和癌症是医学上死亡率最高的两种疾病。一些贝类中的蛤素、海绵和鲨鱼中的角鲨烯、珊瑚体中的强心剂，都具有很高的药理活性。

http://bbs.3s001.com/

这些药物都已通过实验室提取，正在临床试验，可望成为社会、经济效益很大的未来产业。

（2）海洋生物毒素生产　像河豚毒素、石房蛤毒素和海蛇毒素等,经济价值和药理价值很高,生物资源较丰富,今后将会有较大的发展。

（3）人工合成药物的生产　　虽然海洋药物资源贮量较丰富,但总的来看是有限的,特别是一些经济价值和药理价值较高的资源。搞清海洋药物的化学结构,人工合成药物,这是今后海洋药物研究和生产的重点，也是主攻的方向。

http://bbs.3s001.com/

社会经济发展的重要基础
——海洋矿产资源的开发

我国已在近海发现含油气构造 100 多个,找到石油地质储量约 1.7×10^9 吨,天然气 3.5×10^{10} 米^3·滨海砂矿 60 多种,探明储量 2.5×10^7 吨。1997 年我国海洋石油产量 1.629×10^7 吨,海洋天然气产量 4×10^9 米^3。从这一组数字可以明确看出,海洋矿产资源在社会经济发展中具有重要的地位,随着陆地矿产资源的消耗,这种地位会愈来愈加强。

一、海洋矿产资源的极端重要性

海洋里的矿物资源种类有多少?蕴藏量有多大?仅据现有资料,尚难准确地回答。不过,就目前的研究成果来看,从海边到大洋、从水体到海底,都有可利用的矿物资源分布。其种类之多、范围之广、储量之大,相当一部分是陆地所不及的。海洋与陆地在地史演化上有着统一的机制和地质构造分布的内在联系,在成矿规律上有许多共同之处。其中,浅海大陆架海底只不过是被海水淹没了的陆地,在矿产上有许多一致性是不足为奇的。但是典型的洋区与陆地毕竟处于不同的环境和地质条件

http://bbs.3s001.com/

下，由此形成一些不同的矿产资源也是必然的。

（一）海洋矿产种类覆盖了社会生产对原材料品种的需求

由于海洋的自然环境与地质基础同样具备地球化学元素迁移与富集成矿的条件，从理论上分析，海洋矿产的品种应该与陆地一样丰富。目前虽然还没有全面、系统的对比分析，但是，从已有的发现和研究成果已能证明这一结论。

海洋里的矿产资源，若以其存在的区域或方式，一般可分为溶存于海水中的矿物和海底矿产两大类，海底矿产又可分为未固结的矿产和固结的矿产。

海水中溶解的矿物质，不仅数量大，而且种类多，大自然分布的 92 种元素在海水中基本都有。就其元素的性质而言，有金属矿物元素，如铁、镁、铜、金、银等，也有非金属元素，如钠、溴、钾、钙等。现已能够提取的约 60 余种。在一定意义上，海水水体可以看成一个巨大的“液体矿床”。这在海水化学资源部分已经阐述。

1. 海底未固结矿产

分为两类，一是海底表层矿产，二是埋藏矿产。

表层矿产能构成资源的主要有三种：第一种是海岸、河口和浅海海底砂矿，如钛铁矿、磁铁矿、金红石、锡石、砂金矿、金刚石、锆石、铂矿、磷钇矿、铌铁矿、钽矿、磷钇矿、铌铁矿、钽铁矿、琥珀砂矿、独居石矿等，这些矿产是冶金、机械、电气化工、陶瓷、航空航天、精密仪器及尖端技术等重要工业部门的原材料来源，有着极高的使用价值；第二种是松散钙质沉积和石英砂、砂与砾石、珊瑚砂与珊瑚礁等非金属材料矿产，它们广泛分布在基岩海岸的岸带、河口、浅海地区以及基岸与珊瑚礁海岛附近；第三种是自生海底表层矿产，这是一类前景远大的资源，主要有大洋锰

http://bbs.3s001.com/

结核、磷灰石、海绿石、多金属软泥等。其中，锰结核广布世界各大洋底，结核的矿物元素虽稍有差别，但基本成分还是大体一致的，均含有丰富的锰矿物和铁矿物。除此之外，还含有镍、铜、钴等 50 多种矿物元素。

海底埋藏的未固结矿产有两种主要类型：第一种是原始成因的埋藏砂矿，其具体矿产大体同于表层砂矿，分布区域集中在浅海大陆架上，埋藏深度不一；第二种是海底石油与天然气，它是目前海洋矿业开发产值最高的资源对象，今后进一步利用的现实性也最好。

2. 海底固结矿产

涤底固结矿产亦有表层和埋藏之分。表层的固结矿产有暴露的层状矿床，如煤、灰岩、褐铁矿、泥炭层等 有自生的表层固结矿产，如氧化锰覆盖层、磷灰岩壳等。埋藏固结矿产品种更多，有浸染状、脉状和层状的矿体，如煤、铁、锡、金、硫、多金属硫化物和盐类等。就其成因来说，海底固结矿产中相当一部分是内生矿产，如斑岩铜矿、斑岩钼矿、磁铁矿、钛铁矿和金属硫化物矿等。根据板块构造理论，海底大洋中嵴和板块边缘的岛弧带，是地质史上岩浆活动区，在海底伴随岩浆活动的热液矿床应比较丰富。

近些年来，经过深海大洋地质调查、勘探，已发现大西洋、太平洋、印度洋及一些边缘海底存在热液矿床，大部分布在 1 500～3 000 米水深裂谷处，富含铜、铅、锌、锰、铁、镉、钼、钒、金、银、锡等金属矿物，沿大洋中嵴和边缘岛弧区岩浆活动带发育。不少专家认为，海底热液矿产将是未来社会所需金属矿物的重要来源。

（二）海洋矿产资源正在成为社会新的原材料供给基地

http://bbs.3s001.com/

衡量资源的社会价值，品种的多样性是一主要因素。但对于开发利用实践来说，更重要的还是资源储量，只有达到一定储量水平，资源才具有开发的实际价值。从社会的无限延续和人类科学技术能力的无限性而言，一切自然资源都是可以利用的，或者说最终都是有开发价值的，但分析和认识还是应该建立在实践和可能预测的基础上。

海洋矿产资源不仅品种繁多，基本上能够覆盖社会对矿产种类的需要，而且相当一部分矿物的储量非常丰富。如果能够创造必需的装备技术能力用于开发利用海洋资源，海洋资源的储量完全可以满足现在和未来工业生产对原材料的需要。大洋锰结核和溶存于海水之中的矿物，即属于这类资源。

1. 储量可观的海洋能源矿产

在海洋能源矿产中，最受重视的是海底石油和天然气资源。目前，海底油气掌握的储量和实际开发的产量，都已在世界油气生产中占有相当比重。另外，海底油气也是海洋各产业中产值最大的行业。

海底石油和天然气虽然早已发现，并在 19 世纪末期开始勘探,但直到 20 世纪中期，其进展尚不足以引起人们的关注。60 年代后，在世界石油消费迅速增长的情况下，以陆地油气资源开发供应的石油业，逐渐暴露出后备资源不足问题。当时联合国的有关机构分析,到 2000 年前后，世界将会用完现在（即当时）已掌握石油储量的 87%、天然气储量的 73% ,其储量所剩余的部分，耗尽也是指日可待了。当时另有预测，根据已探明的 7.6×10^{10} 吨储量,以每年消耗 $2.6\times10^{9}\sim2.8\times10^{9}$ 吨计算,也不过 30 年。这里且不论这种预测是否有客观性，却引发了人们寻找新能源和油气新储量的热情。正是在此背景下，海洋石油的调

http://bbs.3s001.com/

查、勘探工作,得到扩大、深入地进行,这项工作在世界各沿海国家毗邻的大陆架上展开。

经过 20 世纪七八十年代的努力,至 1989 年,世界范围内已掌握海底石油储量为 3.656×10^{10} 吨,占世界石油掌握储量的 30% 以上 天然气储量为 3.01×10^{13} 米^3,占世界天然气总储量的 30% 左右。此期间,海洋石油和天然气开发也得以迅速发展,产量上升很快,由 60 年代以前占世界石油总产量中的不足 10%,提高到 80 年代末的 28%。1989 年世界近海石油和天然气的产量分别为 7.42×10^{8} 吨和 3.0781×10^{11} 米^3。现在,海底油气资源的勘探、开发,已成为沿海国家的重要经济活动内容,成为某些国家的经济支柱之一。例如:在 60 年代中期之前,英国还不存在海洋石油工业,所需石油基本依赖进口,消耗了大量的资金,1968 年的进口石油用费就达 125 亿英镑,给国家带来沉重的压力。1965 年后,英国陆续在北海南部、中部找到了西索尔气田、福特斯大油田等,1975 年投入开发生产,1978~1980 年进入高峰期,日产原油达 6.8 万吨,至 1982 年累计产量 1.37 亿吨。80 年代中期,英国每年从北海开采原油 1.2 亿吨以上。从而改变了依赖进口的局面。这对其经济的影响是显著的,仅 1984~1985 年两年间,政府从北海油田的收入就达 100 亿英磅。北海油气的开发对英国的经济与社会生活影响重大。由于北海水深较大、海况条件较差,油气开发的成功可说明两个问题 第一,海底油气资源丰富,虽然现在还不能说在整体上不亚于陆地,但起码在一些局部海区,其资源的数量和质量不逊于陆地 第二,立足于世界总的科学和工业技术水平,海洋矿产资源的开发,只要社会需要,那么开发的实施条件是可以创造的。

与陆地比较,海洋油气资源普查、勘探工作的广度与深度还

http://bbs.3s001.com/

很不够，除近海有利海区工作稍多些外，大产分大陆架海域尚属空白或者仅做了粗略的调查。所以，对海洋油气资源的总体情况还不甚了解,目前掌握的 3.656×10^{10} 吨的石油储量，决非全部资源量。毫无疑问，其客观储量要大得多。专家研究认为，陆地石油勘探程度已比较高，今后发现新的大型油气田的机会不可能很多，加之不少油井已进入开发后期阶段，即便陆地上能够找到一些新的油田，所增加的产量也只不过能抵上老油田的衰减。同陆地恰好相反，海底油气开发刚刚起步，前景光明。所以，海洋油气资源成为人类未来的希望是必然趋势。

2. 储量巨大的海底金属矿产资源

尽管目前我们对海底的金属矿产资源量还不很清楚，难以进行总储量的科学评估。但是，仅就已知的几种金属矿产，作出储量巨大的结论，一定不会发生判断上的失误。

在找到的深海矿产中，能够引起国际社会震动并丰富人们对海洋看法的，莫过于大洋锰结核和海底热液矿床。这两种深海金属矿产的蕴藏量和价值构成了向大洋进军的动力。

锰结核是大洋特有的沉积矿产，散布在深海海床之上。其大小不一,直径从不足 1 毫米到几十厘米，少数可达 1 米以上；其个体重量，从几克到几百克、几千克，特大者甚至有几百千克；其外形不规则,一般为椭圆形,并有一定浑圆度 外表颜色不一，有褐黑、黝黑、浅棕等。锰结核的化学成分和矿物组成比较复杂,系多种金属矿物的集合体,但主要矿物是铁、锰、铜、钴、镍，其中又以铁、锰含量最高,锰平均 30%,铁平均 15%,高者分别达 57%和 27%。锰结核是高品位的多金属富矿。它的分布十分广泛，据调查，在世界各大洋和边缘海盆的底部都有沉积，深度主要集中在 4 000～6 000 米,但 4 000 米以浅和 6 000 米以深

http://bbs.3s001.com/

的海底也有分布，只是数量较少。就富集度来说，以太平洋最好。现已勘探到太平洋的高富集带，其范围在北纬 6°30′～20°，西经 110°～180° 之间，面积为 1.08×10^{7} 米^2，该区域的水深 3 200～5 900 米。锰结核含铜、镍，总品位大于 3%，其丰度在 10 千克／米^2 以上，覆盖密度达 75%。其他大洋区也都找到了富集比较高的锰结核分布区。

全球大洋底锰结核的总资源量究竟有多大？这是经济评价的一个关键问题。由于锰结核分布面积广，各地疏密不均，其沉积厚度差别大(有的存在表面层，有的埋在几米之下)，计算其总储量确有不少困难。许多专家还是通过实际调查资料进行了估算，近期大多认为，世界大洋锰结核的资源量在 3×10^{12}吨左右，其中太平洋占一半以上，为 1.7×10^{12} 吨。较为保守的估计要低得多，只有 $1\times10^{12}\sim1.5\times10^{12}$ 吨。尽管现在对其总储量估计差别较大，但不论估计高些，还是低些，其总储量都是十分巨大的。3×10^{12} 吨的数量之大，可能还不能给我们一个清晰的概念，如果能再引伸一下，问题会变得清楚，假若大洋中有 3×10^{12} 吨锰结核的分布量，从中即可冶炼提取锰 6 233 亿吨、铜 109.6 亿吨、钴 94.5 亿吨、镍 233 亿吨、铁 4 330 亿吨、铝 883 亿吨、铅 30 亿吨等。为了更明确这些数字的意义，将其与陆地同类资源作一比较，按美国米都斯在《增长的极限》一文中的资料，陆地蕴藏锰 8 亿吨、镍 0.55 亿吨、铜 3 亿吨、钴 0.018 亿吨、铝 11.7 亿吨、铁 1 000 亿吨、铅 0.91 亿吨等，两相比较大洋锰结核锰含量是陆地已知储量的 779 倍，依次铜 36 倍、镍 405 倍、钴 5 250 倍、铁 4.3 倍、铝 75 倍、铅 33 倍。这样大的储量，如按 80 年代世界的消耗量，可延续人类使用时间少则数千年，多则达到几十万年。此外，我们无需追证这些资料究竟准确到什么程度，特别

http://bbs.3s001.com/

是陆地资源量可能偏低。但趋势结论是不会错误的。由此可见，海洋矿产，仅锰结核的储量就足以今人受到鼓舞。还需指出的是，大洋锰结核还是一种不断增生的资源，每年新增加储量仅太平洋区域就可达 1000 万吨。所以，美国人杰拉尔德·曼贡认为，“从整个海床来看，锰结核矿物资源的形成速率比可预见的将来对这种资源的消费率还要快”。

海底热液矿床，是一种内生金属矿，被认为“比锰结核具有更大的潜在经济价值”。

海底热液矿床主要集中在挤压、张裂、剪切型板块构造的边界区，这里是构造运动、变质作用、火山喷发和岩浆侵入的活跃地带，因而是各类内生矿产运动的活跃地带，是各类内生矿产的生成区。岩浆侵入一般为三个时期，开始是岩浆期，继之是伟晶期，最后是汽化一热液期。所谓热液矿产即是最后期形成的。汽化一热液期的岩浆活动属于晚期，岩浆的汽化熔体的温度已大为降低，但远较围岩的温度、压力为高，其挥发化合物进入围岩便产生交代作用，而生成新的矿物。另外，岩浆残余蒸气状态下的溶液，沿顶部的岩石裂隙上升溢出或充填，冷却后便形成热液矿脉、矿床。理论研究和海底考察、调查发现，从俄罗斯远东、中国东部、马来西亚、澳大利亚、南北美洲西海岸，直到阿拉斯加，是绵延 3 万多千米的环太平洋构造活动成矿带，分布着多种金属矿床，通常称之为环太平洋“大铜环”或“大金环”。在此环之外，相当于岛弧一海沟系，是硫化物矿床分布区，有黄铁矿型铜矿、汞和镁矿、铬镍矿等。在大洋内部的洋中嵴张裂型构造活动区，主要矿种是基性与超基性矿床和多金属硫化物矿床。在东太平洋、印度洋、大西洋的洋中嵴裂谷，在海盆中都发现有铁、锰、铅、锌、铜、镍等热液矿和铜、锌的硫化物矿。

http://bbs.3s001.com/

自20世纪40年代在红海找到多金属软泥以来，经过几十年的工作，已在红海中央裂谷区陆续找到18个多金属软泥矿区，其中的亚特兰蒂斯Ⅱ号海渊的金属软泥矿床，总储量为2 000万米^3,软泥堆积厚度约10米,约含有锌290万吨、铜106万吨、铁2 430万吨、银4 500吨、金45吨。其他洋区先后发现33处海底热液矿床区，通过采样分析，矿体不仅含有金属矿物，而且品位都比较高。例如：东太平洋海隆含锌量达50%,其次含铜0.75%、铅0.35%、银0.04%等；胡安德富卡海岭含锌量高达55%,其次含铜0.35%、铅0.32%、银0.03%等 加帕拉戈斯裂谷硫化物矿床,含硫40%、铁32%、铜7%、锌1.3%等。

目前，由于条件的限制，对海底热液矿床工作做得还很少，但从理论研究的结论和初步考察发现，其广阔的前景是完全可以确定的。为此，该资源受到许多国家和国际组织的重视。它的价值很高，而且其意义还不单纯在物质利益上，摘引美国采矿会议给美国海洋大气局的一份报告里的一段文字，可能有助于我们在更广泛的意义上理解这一资源的价值。报告说：“很重要的问题是应把这种矿产资源本身的价值与对于这种矿物的认识的价值区别开来……海洋多金属硫化物的知识确有重大价值。有关海洋矿床的成因及其地质环境的知识，对于成功地在陆地上寻找这些矿物是至关重要的。对海洋多金属硫化物成矿作用的深入研究，也可以增加对大地构造过程以及行星的热力学和地球化学动力学等基本理论的理解。此外，为了实现这些科学目标所研究的技术，将提高人类在恶劣环境中活动的能力。”

总之，海洋矿产资源的种类和储藏量极为丰富。既包括着现实利用的矿产，也包括着未来更长历史继续发展的潜在资源。在近期，开发海洋矿产可以成为陆地资源开发的补充，其中也含

http://bbs.3s001.com/

有某些主要来自海上的矿物。在中长期，海洋矿业在整体矿业中的比重会逐步加大。至于未来，坚信海洋矿产会成为社会物质生产的主要、稳定原料来源。

二、锰结核的开发

锰结核是含有锰、铜、钴、镍等 30 多种金属元素的深海底矿产资源。据估计，整个大洋底有锰结核 3×10^{12} 吨，仅太平洋就有 1.7×10^{12} 吨，其中含镍 164 亿吨，铜 88 亿吨，钴 58 亿吨，锰 4000 亿吨，这些金属可供全世界使用几百年以上，价值约 6×10^{13} 美元。太平洋北纬 6°～20°、西经 110°～180° 之间面积约 1.08×10^{7}（千米）^{2} 海底，锰结核的品位和丰度都很可观，被认为是第一代最有希望的采矿区，也是各国进行锰结核调查勘探和试采的主要场所。锰结核的开采方法、冶炼技术已基本解决，试采已获成功。

大洋底锰结核资源的开发技术，大致可分为调查、开采和冶炼三个部分（或者还可加上环境保护措施），其中以开采技术的研制最为困难。这不仅因为没有现成的采矿设备可以沿用，更主要的是由于结核矿床自身的特点决定的。

第一，结核的分布不均匀，其富集率和所含金属品位都富于变化。即使是在结核富集带，虽然有的超过了 30 千克／米^2，但并非处处如此。所以，在设计采矿设备时，就必须确定最低可采富集率。对此，目前众说不一。一般认为，按 10～15 千克／米^2 设计较为合适。

第二，在目前条件下，可供开采的结核富集带都赋存于远洋 4 000～5 500 米的深水区。经济上合理的冶炼厂，其最小规模

http://bbs.3s001.com/

必须达到年处理锰结核 100 万吨(干重,相当于湿重 150 万吨),采矿装置的规模应与之相适应。另外,由于是在远洋区长期作业,所以大型的采矿设备是比较有利的。要从平均富集率为 10 千克/米^2 的矿床中年开采 150 万吨(湿重)锰结核,若按一年 300 个工作日计,相当于每天开采 5 000 吨(每小时 200 吨以上),并输送到海面。这样,每天的采矿面积就将达到 5×10^5 米^2。但这还是按 100% 的采取率计算的。实际的采取率估计还达不到 50%。所以,实际的开采面积将是上述计算面积的 2 倍以上。

第三,赋存锰结核的洋底工程物质性质特殊。其沉积物是未固结的深海粘土和软泥,富水、极软(估计承压力 2.94 千帕),又富于粘性。集矿装置必须适应于此种环境,方能正常运转。

至今,有关开采技术的设计方案已多达几十种,但因开采技术复杂,研制和试验经费庞大,所以实际研制以供试验的寥寥无几。采矿装置基本上由三部分组成,即集矿装置、输送系统和采矿船。目前试验的开采方式中,可以归纳为连续索斗式(CLB)和泵式两类。

(一)连续索斗式(CLB)

这类开采方式的基本特点,是在一根长 1 万米的环形尼龙缆绳上,每隔一段距离系挂一个采矿挖斗。通过采矿船上的机械操作,使采矿船上直达海底的环形缆绳不断循环运移,带动挖斗不断地把洋底结核挖取到采矿船上。按采矿船数目和曳航方向等的不同,又可分为以下三种方式:

1. 一般横曳式(图 19 左)

这是连续索斗采矿法中最早提出的一种方式。系挂挖斗的缆绳从船的一侧起落,利用船身长度,把一升一降的缆绳分开一

http://bbs.3s001.com/

定距离。船体一面横向移动，一面连续采矿。这种方式很难保证升降缆绳不彼此缠绕。

2. 双船纵曳式(图19中)

这是为了克服单船横曳式缺点的改进型。其特点是，系挂挖斗的缆绳的拖放和回收各在一条船上，以尽可能增大起落缆绳之间的距离。这种方式虽然可以避免缆绳绞缠事故，但要使两船操作协调一致却比较困难。

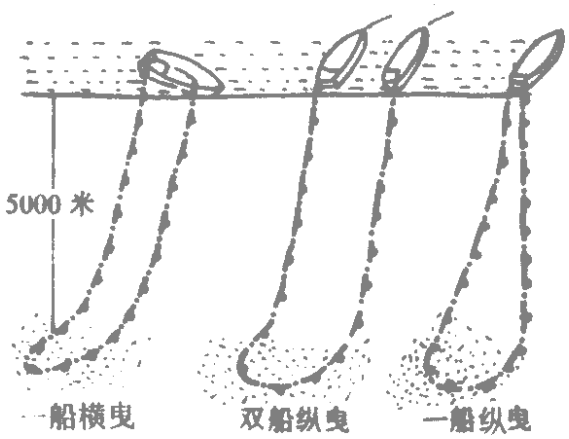


图 19　连续索斗式锰结核开采示意图

3. 一船纵曳式(图19右)

本方式与第一种方式的不同之处，不仅在于采矿船曳航方向(纵曳)和缆绳起落部位(船尾)，更重要的在于单船纵曳式和利用挖斗在航行中相对于海水的运动，把相隔很近、一起一落的两条缆绳分开。所以，这种方式又称为流体分离连续索斗式（HDS-CLB）缆缆上彼此相距几十米的挖斗（斗底及三面斗壁为网状，斗顶具盖板，斗口朝前），其前后两端分别用一侧长、一侧短的两股交叉绳索把挖斗倾斜地吊在环形尼龙缆绳上（图20），同时必须使上升和下降挖斗的倾斜方向恰好相反（图21），以便利用水充阻力把升、降缆绳分开，避免缠绕。

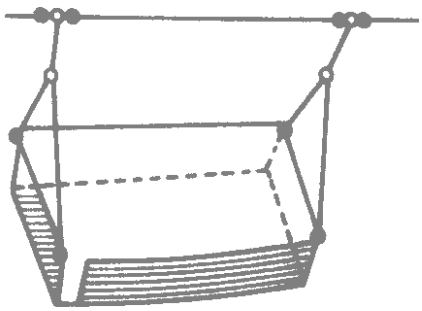


图 20　HDS-CLB用的挖斗

http://bbs.3s001.com/



图 21　利用水流阻力分离缆绳示意图

(三)泵式

泵式方式是由海底集矿装置采集结核，用管道输送到采矿船上的。按输送动力种类分为液压泵式和空压泵（气举）式两种。最早由梅罗提出的采矿方案，就是液压泵式，如图 22 所示。泵室位于海水中长长的输送管道中间的浮筒内，浮筒中充以高压空气，用真空吸矿机吸取海底锰结核，经由管道输入采矿船。按工作水深 3 400 米设计的液压泵式，它的要素如下：

工作水深 3 400 米；

可采结核最大直径 15 厘米；

输送管道内径 51 厘米；

管内流速 5 米／秒；

管内液固体积比 10∶1；

液体中含结核 5%（获取物之半为废弃物）；

液体中固体密度 2.1；

因恶劣天气不能工作的时间： 20%；

因设备故障不能采矿的时间 16%。

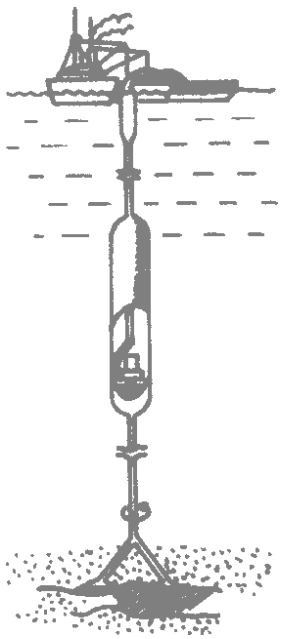


图 22　液压泵式采矿装置示意图

http://bbs.3s001.com/

管道系统重量分配：

输送管道(壁厚 2.54 厘米,长 3 408 米):1 125 吨；

泵(直径 50.8 厘米):25 吨；

发动机(5.88 兆瓦):30 吨；

主浮筒(直径 6.82 米,壁厚 7.62 厘米,长 85.2 米)：

1 050 吨；

主浮筒中空气:100 吨；

管道中海水:70 吨；

其他:100 吨。

合计:2 500 吨。

梅罗的这一设计方案对重量估计偏低。一般认为，总重将达 5 000～10 000 吨。按此方案，可以日产锰结核 3 000～5 000 吨。这一方式的特点是：液压泵设在水中，为适应真空吸矿机的活动特点，输送管道下段可以旋转。

空压泵式同液压泵式结构基本相同，但具有以下优点：不存在液压泵式动力部分设在水中的那种困难。它是开动设在船上的空压机，高压空气沿输气管道向下，从输矿管道中部或深、中、浅三个部位输入,在输矿管中产生高速上升的固、液、气三相混合流，从而把锰结核输送至采矿船内。

图 23 是美国深海控险公司设计的一种空压泵式采矿装置示意图。其输矿管道可以倾斜拖曳，桁架（深度调节装置）倾角可变，以适应水深的变化。另外，还设有泄料阀，以防泵发生故障时输矿管道被阻。

为了获得输矿管道中 3 米／秒的上升流速,须使用 433.65 千瓦以上的空压机，每分钟需要输入 225 米^3 压缩空气。

http://bbs.3s001.com/

泵式采矿法的海底集矿装置，除前述真空吸矿机外，还有多种设计方案，如拟耳钩式、潜艇式、推土机式等。

以上介绍的几种开采设备方案都还没有定型，现在正在不断试验改进和比较的过程中。上述各种装置都已经过海上不同水深试验，其中取得不同程度的成功者计有：

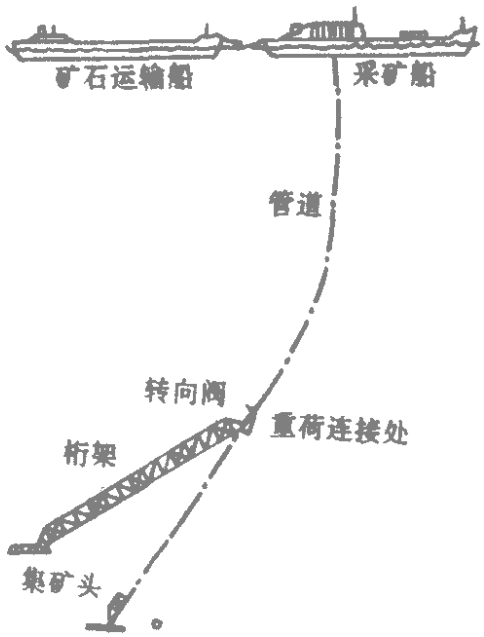


图 23　空压泵式采矿装置示意图

美国深海探险公司在大西洋布莱克海台水深 800 米处，做了空压泵式采矿试验。

日、美国、法等六国 20 个公司联合在夏威夷海域水深 4 900 米处，试验船“极洋丸2”号（17 000 吨）用 CLB 式采矿装置首次试验成功（中途也发生过挖斗未着海底及几次缆绳绞缠事故）。

日本“东海大学丸”Ⅱ号，在小笠原以西海域的水深 4 200 米处，HDS-CLB 式采矿装置小批量连续试采两天成功。

INCO 集团用 SEDCO （东南钻探公司）445 号石油钻探船（改装），在浅海及深海进行了一系列试验。在夏威夷海域水深 5 200 米处，用液压泵法首次连续采矿成功。其后用空压泵法连续开采首次成功。

同泵式相比，连续索斗式具有以下优点：集矿和输矿是一套装置，无论船上还是水下设备，重量轻，构造简单，机动性强，易于操作，安装、移动、排除故障等也都比较容易 劲力效率高 对各种海底地形的适应性强；可以将水下输送过程中混入矿石里

http://bbs.3s001.com/

面的沉积物大量冲洗掉；投资少（如试验投资仅及泵式的 1/10 -1/20）用 HDS-CLB 式可以防止缆绳绞缠，保证连续安全生产。相反，连续索斗式的上述大部分优点正是泵式存在的缺点。但是，目前从事锰结核开采研究的人员大半仍倾向于采用泵式采矿法,其原因就在于连续索斗式产量低(日产千吨左右),而泵式装置日产可达 4 000～5 000 吨。对此，有人提出同时用几套连续索斗装置生产,就可弥补其低产弱点。总之,目前各家还在继续深入试验比较，未作定论。

三、海洋油气田的勘探技术

(一)油藏形成条件

所谓油藏，就是在地壳中移动的石油储存起来的地方。油藏中的石油是从一个碳原子的甲烷到多个碳原子烃混合在一起的碳氢化合物的混合物。天然气一般都溶解在石油中共同存在,但也有天然气与液体分开在不同的地方储存的情况,这称之为气藏。天然气藏和油藏就碳氢化合物的生成、运移、聚集等条件来说,其本质是一样的。

油藏中的石油,一般存在于多孔隙的渗透性岩石中,如砂岩和石灰岩的孔隙或裂缝当中，也有存在于火成岩的裂缝和孔隙之中的，但这种情况比较罕见。

把含有油藏的岩石称为储油岩,这些具有多孔性、渗透性岩石的孔隙中,必定存在地层水(间隙水)。储油岩中与石油形成相联系的部分(油层),由于表面张力关系,在孔隙表面上还残留有水。油层部分和下面的水充满了孔隙，两者的接触面称为油水界面。

http://bbs.3s001.com/

石油能够在储油岩孔隙中储存，其上必须有不渗透的岩石遮挡，而储油岩中一定要有具备石油停留在那里并导致其聚集的地质条件。油藏附近遮盖储油岩的不渗透性岩石称作盖层，而把石油储存、聚集的储油岩称为油捕(图 24)。

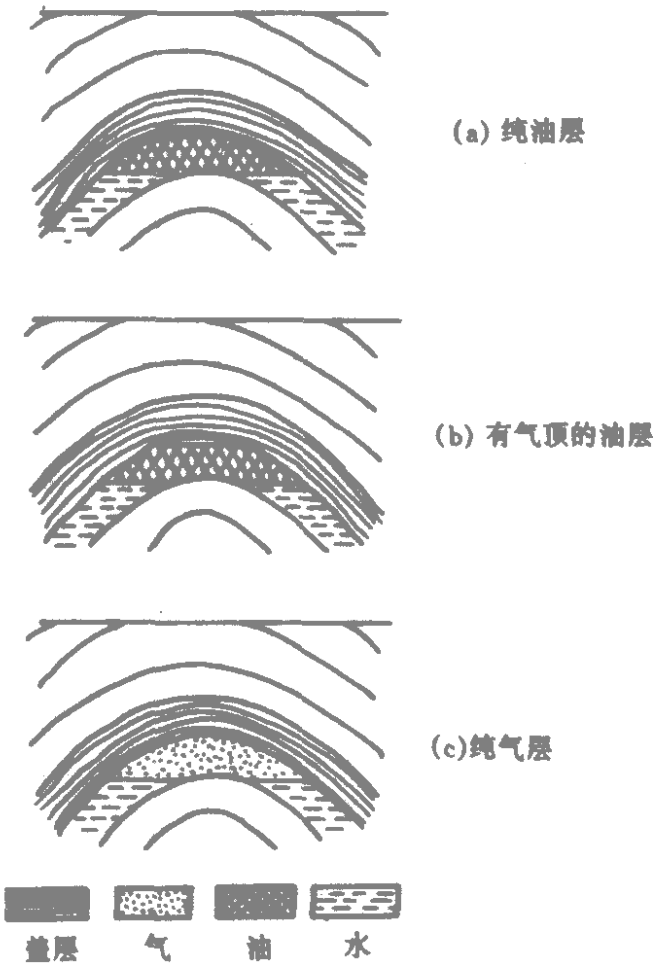


图 24　背斜油藏的概念

地壳中生产的石油与水一起在渗透岩石中移动，到达油捕聚集储存，这点在今天来说是毫无疑问的。但要了解它的原始物质生长、运移、集聚的过程是很困难的,直到现在尚未真正弄清。

http://bbs.3s001.com/

但是各种学说在下述的原理上是一致的。比如，认为石油生成物质是无机物质的说法，现今无须再提。石油的生成、运移、聚集的环境主要是浅海沉积岩。作为石油母质的有机物质有：海相的生物遗体；由陆地水搬运来的陆相有机物；海陆相生物遗体内的碳氢化合物。从数量上讲，最为重要的是浮游生物类。

由海底与砂土共同堆积的有机物质中生成碳氢化合物的过程，仍有很多地方还不清楚，在可以供给氧气的环境中（如在波浪大的浅海），有机物质通过好氧细菌的活动被分解而不能成为碳氢化合物。碳氢化合物要在氧气供给不充分的还原性环境中形成。在底层水停滞的海盆低洼处（如在陆地附近）有许多有机质补给条件。

从生物体构成有机物质向碳氢化合物转化的过程看，厌氧性细菌起了重要的作用。因为细菌的数量随着海底堆积物的深度增加而急剧减少，所以含有石油母质的沉积物在海底面逐渐被埋在深处，因而不是由于生物化学作用，而是由于地热、地压或粘土矿物和重金属等触媒作用，经过很长的地质年代生成了石油。

沉积物又被其上不断堆积的沉积物覆盖埋没，受到逐渐增加的岩石压力的压实，这时粘土质沉积物孔隙度减小，其中的水分被排挤到外边。这些被挤出的水（压密水流）以渗透性地层为通路向水圈运动。从沉积物中的有机物生成的石油或者中间物质，在这个不太成熟阶段，由于除碳氢化合物外，还会有环烷酸和其他的有机酸,那些金属盐、苯乙烯、卟啉等表面活性剂物质，与水之间的界面张力很弱而且带有亲水性，所以这些沉积物一定是在孔隙水中作为分散的胶质而存在，并随压密水流在沉积

http://bbs.3s001.com/

物中移动。

因为压密水流速度很小，所以石油要移动一定距离，要花很长的地质时间。在这期间石油逐渐得以成熟，表面活性剂或产生变化或被排除，石油失去了亲水性。因此，砂层孔隙大的沉积物中能和水一起移动的是石油，但石油从孔隙大的砂层向孔隙小的粘土沉积物流入时，因为油和水的表面张力阻碍，石油就残留在砂层中，也就是所说的发生了分异现象。

这样一来，石油在压密水流集中的孔隙性沉积物中逐渐密集并日趋成熟，失去亲水性的石油呈滴粒状并合成一体，在孔隙中形成连续相。这个连续相如果达到很大的规模，就以油和水的浮力差，不断地向上方移动，以至在盖层以下的孔隙性岩石形成的圈闭中，由于石油聚集而形成了油藏。

存在油藏的储油岩地质年代涉及到前寒武纪至第四纪的所有时代。西方大油田地质年代的分布见表 6。

表 6　　西方大油田在地质年代上的分布

地质年代		油量(%)　($\times 10^9$ 桶)	油田数(%)
新生代	鲜新世～更新世	7.6　(3.5)	29　(10.3)
	中新世～渐新世	62.3　(28.7)	92　(32.6)
	始新世～晚新世	13.1　(6.7)	20　(7.1)
中生代		114.3　(52.7)	55　(19.5)
古生代		19.7　(9.1)	86　(30.5)

由于长期的沉积作用，沉积物发育很厚的地壳部分，可称作沉积盆地,但是因为石油是在其中生成、运移、聚集的,所以关于油藏是在沉积盆地的哪个部位形成的知识，在石油勘探上是很重要的。

http://bbs.3s001.com/

油藏在沉积盆地内的分布有一个趋势，即基底显著沉降，因而那个时候在地层堆积很厚的盆地中央油藏是很少的，在地层（特别是油层附近的累积地层）不太厚的地区，尤其是在濒临大陆架浅海相地层的边缘及深海的沉降带、地层厚度急剧变化的枢纽带和大陆架地区能够形成大油田。西方大油田在盆地内的分布见表 7.

表 7　　西方大油田在沉积盆地中的分布

位　置	油量(%)　($\times 10^9$ 桶)	油田数(%)
边　缘	3.3　(1.5)	12　(4.9)
盆地中央	42.5　(19.6)	17　(6.9)
枢纽带	116.4　(53.6)	33　(13.5)
大陆架	54.8　(25.3)	183　(74.4)

以上沉积盆地(图 25)是因地壳运动向构造盆地（由于地壳变动地层形成盆状形态的部分，图 26）转化。与沉积盆地一样，油田多形成在挠曲带和大陆架地区，这些地区的地层不很厚，并且由于它的基底是陆台（地盾），准平原化古地质时代的岩层成为刚性体，所以受横向压力产生的褶皱不多。与此相反，在地壳变动的时候承受横压力的褶曲，在能形成很多背斜构造的可动边缘也有很多油藏分布。这些构造盆地中的大油田的分布表示在表 8 中。



图 25　沉积盆地

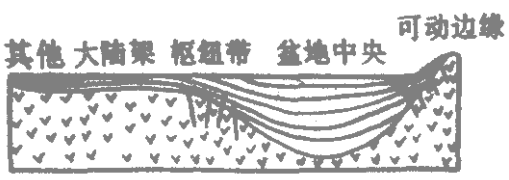


图 26　构造盆地

http://bbs.3s001.com/

表 8　　西方大油田在构造盆地中的分布

位　置	油量(%)　($\times 10^9$ 桶)	油田数(%)
可动边缘	46.3　(21.3)	32　(13.4)
盆地中央	24.8　(11.4)	58　(24.4)
枢纽带	109.0　(50.3)	39　(16.4)
陆　棚	29.2　(13.5)	75　(31.5)
其　他	7.7　(3.5)	34　(14.3)

(二)勘探方法

近代石油勘探理论基础,不管是海上或是陆上的油藏,毫无疑问全部是在地质条件支配下形成的,这已经被证实。因此,现今的勘探方法也都以查明地下地质条件为目的，尔后根据所取得的资料,追踪石油的生成、运移、聚集过程,进而查明油藏的存在。大陆架的石油勘探基本与陆上相同。

要查明油藏的存在以及深度规模形态等,除初探井以外,没有其他办法。虽然有由在地表发射信号、由油藏反射回答来查取这一部分的电波反射法和弹性波反射法（调查油水界面的方法),但这些方法还仅仅是人们设想,在不远的将来其实用化的可能性也是很小的。

在陆地上的勘探,也有诸如地球化学勘探法、放射法勘探法或微生物勘探法等方法，都是通过解释地表或地表附近出现的自然现象来了解地下油藏存在的勘探方法。其根据是：如果地下存在着油藏,那里就会有微量的碳氢化合物上升,它们的影响就会在地表或地表附近出现。但是这些现象是极其微弱的，而且因为考虑到地表附近的地质、地表条件或地下水的分布及其性质或气象等影响极为强烈，在陆地上准确地掌握这些现象作出判断也是困难的。因此，在海域这些方法的应用几乎是没有

http://bbs.3s001.com/

可能的。

为查明有油藏存在的地质和地质构造的方法虽然是间接的，但从地质学被应用于石油勘探以来至今，已成为初探前的正统勘探方法，今后一段时间也会是这样。

1　勘探的种类

了解地质及地质构造的方法是地质调查。在广义上讲，包括地球物理勘探。

地质调查主要有：从地表见到的岩层了解地质和地质构造的地质调查；从地面地质资料和由构造钻井、初探井以及其他钻井得到地下地质的有关资料，加上物探得到的地下构造资料，以了解地下地质和构造为主的地下地质调查。地下地质调查不但在勘探阶段，而且在开发生产阶段也需要继续进行。

直接了解海底地质情况的海底地质调查，也属于地面地质调查范围，有如下方法：

(1) 航空摄影调查　与陆地相同，在透明度好、水深 10 米的海域可以了解地质和地质构造。

(2) 潜水地质调查　使用水中呼吸器，与地面调查一样，用重锤和水中测斜仪进行地质调查，在水深 20 米以内的地方这种做法是很普遍的,通过训练,在水深 50 米以上进行调查也能做到。同(1)一样，在基岩很少露出的地方是没有效果的。

(3) 取样调查　是由船上用取样器采集海底的地质资料来判断地质的方法。对石油勘探来说，仅有海底土质调查还是不够的，而且因为这种方法不能连续地调查地层，所以也不能认为是有效的。

除以上方法外，作为直接从海底取得地质资料的方法，已发展为潜水海底调查船，但石油资源勘探多半利用基础调查。

http://bbs.3s001.com/

一般地质调查，在海域和陆地上都使用岩石学、古生物学以及沉积学等方法。调查勘探地区的岩层分布状况与地质构造，并且查明这些岩层的形成过程和构造发展过程，与其他地区进行对比，决定它们的地质时期，并把这些结果表示在地质图、地质构造图或剖面图上。

在石油勘探调查时，特别要查明生油岩、储油岩和盖层的发育情况，同时也必须搞清它们与构造的关系。时至今日，关于生油岩的识别标准还不太清楚，只能从岩石中含有有机物的分析等去推测。但至少表面特征可以反映生油岩的存在，因而调查时了解是否存在表面特征或了解其性质怎样，具有重要意义。为了准确地掌握以上的岩层发育情况，最理想的是取得更多的有关这些沉积当时海陆的分布和海底地形的推断资料。由于同石油的生成、运移、聚集有重要关系，所以充分研究构造的发展、变迁是十分重要的。把研究的结果表示在古地理图、岩相图、等厚图上，这样有利于根据这些进行推理，以便引导出有关勘探的设想。

随着计算机的普及应用，这些资料情况的综合解释得到了很大应用，提高了勘探效率和发现油田的成功率。

在地表，由于水圈和冲积层、火山喷出物的覆盖，被预测的含油层系没有被露出或极为缺乏时，或者在被预测的浅层构造与深层构造不相符合或以更深层构造为对象时，除初探井以外，地球物理勘探是唯一的手段，所以被人们广泛应用着。

地面重力分布的调查称为重力勘探，磁力分布的调查称为磁法勘探，采用这些方法都是为了掌握勘探区地质和地质构造概况。此外，在钻详探井之前，最广泛使用方法是用人工在地壳的一部分产生地震，根据弹性波的传播速度或状况，了解地壳的

http://bbs.3s001.com/

地质构造,这种方法叫地震勘探。地震勘探精度很高,近来有成本低廉、勘探效率高的各种震源的调查方法。

2. 预查

不局限于大陆架，在进行石油勘探时首先应该考虑沉积盆地或构造盆地,其未变质的沉积物越厚,找到生油岩或储油岩的机会就越多。根据有关资料，预先研究沉积盆地或构造盆地形成过程,研究沉积物的岩相、厚度,如有可能则做出生油岩和储油岩的评价研究,是必不可少的预查作业。

在海域直接进行预查是很少的，必须借助陆地延伸部分的沉积盆地或构造盆地的调查。这是因为：大陆架是原来陆地的一部分，可以推断在陆地所见到的沉积盆地或构造盆地当然会向海中延伸。

许多大油田都位于沉积盆地边缘附近，或者在盆地内基岸凸起的周围。那里一般比盆地底部地层变薄，尤其分布在所谓枢纽带地区。这是以往积累的经验，已成了预查的一个根据。而气田比油田则更多存在于盆地中心的附近，分布在地层加厚的地方，不一定和油田分布一样。

大陆架预查中，海图是不可缺少的资料。在精度好的海图上可以看出海底的起伏，甚至可作为构造调查。海图在预查中是常用的,也是地球物理勘探和初探计划方案的基本图件,一定要充分利用。

3. 概查

概查就是对勘探区进行概略的调查，掌握地质及地质构造的概貌，以便确定在该区进一步进行详查，判断是否有勘探价值,如果有的话,应该在哪个地区。在大陆架,为达到这一目的，主要利用航空磁测。这是因为，这种勘探法便于计算出基岩以

http://bbs.3s001.com/

上的沉积岩厚度，从而容易掌握沉积盆地的大致情况。除此之外，还可利用重力勘探或者稀测线网的地震勘探进行概查。为了保护水产资源,作为地震勘探的震源有电火花、压缩空气、丙烷气爆等,即所谓无炸药或非炸药方法。这种方法安全、作业效率高而且费用较低,但探测深度较小。这是一个难点,然而由于解释技术的显著改进，这些问题也在逐渐得到解决。根据空中摄影进行地层判断,可有效地应用于陆地,尤其是用在未开发地区的预查中。而且在概查和详查中，这种方法也可搞清楚仅凭地表调查而常常难以查明的地质和地质构造。海洋地质概查只是在海域中有基岩出露、透明度良好的地方才是有效的。

4. 详查

详查是对已概查的有调查资料的有关选定地区进行更加精密的调查。根据详查结果确定该区是否进行初探以及钻探的地点和深度,根据周围的地质和所钻探井的地下地质资料,综合对这一地区的地层层序、构造细节周密地进行考虑。而且在判断地下的层序、岩相变化趋势、地下岩层发育情况的同时,不但要研究构造形态,而且要研究其发育时期,对油藏是否存在、如果存在对其位置和深度也要作出预测。

详查必须注意以下几点：

第一,一个勘探对象盆地中有几个储油构造存在时,先开发哪一个,要进行比较,研究各个构造的规模大小、集油面积、在盆地内的位置以及与其他构造的相对位置。已经发现有油藏时，要研究其规律如何,或者在一系列构造中的关系。此外,在储油构造中,西方国家大油田的储油构造型式(油捕)约 80% 属于背斜圈闭。在勘探上与其他圈闭相比,背斜构造也较容易,勘探的主要对象和目标应针对这些构造。与此相反，地层圈闭从地表

http://bbs.3s001.com/

进行勘探是有许多困难的，虽然根据地震勘探的详细解释有时可以预测其存在，但在一般情况下是不行的，只有搜集许多沉积盆地的资料，从储油岩的发育情况去推测地层中油藏的存在。

第二，在包括大陆架的海域进行勘探的详查工作，主要是地震勘探，有时也采取和概查相同的重力勘探和磁法勘探。随着解释技术的改进，地震勘探可以查明深部的构造，是初探前情况调查必不可少的方法。地震勘探有爆破船、测定船双船型以及二者合一的单船型，近来在调查中多使用方便的单船型。为查明构造细节，必须加大测网的密度。但在海域调查时最为重要的是地震勘探记录的解释技术。因为海面与海底都有很高的反射率，水中的弹性波具有多次往复现象，此现象叫作水中噪音，与陆地上呈现的多次反射类似，也是海上遇到的最大干扰。因此，以前的模拟地震仪多不能进行地震反射波的记录。最近应用的输入容许范围很大的数字地震仪、大型快速运算的计算机，水中的噪音和地层间的反射波正在被消除。

第三，在广阔的海域调查时还存在定位测量问题。一般采用的是电波测量，为了实施效率高并且经济的调查，在进行台站的选定和移动时必须达到要求。

第四，在海域进行地震勘探时，与测量要有有机的联系。与陆地勘探相比，因减去了钻爆炸井而耽误的时间，所以调查效率很高。然而，调查船的投产要花费较长的准备和试验时间，因而费用也不是低廉的。正因如此，在同一地区进行概查接着就进行详查可以省工省时，开始就搞详查的例子也是不少的。

5. 预探井与初探井

在石油勘探中，作为获得油藏的最终手段，除钻井外没有其他办法。

http://bbs.3s001.com/

(1) 构造钻井　陆地上因为含油有希望的地质系统完全没有或只有很少的地表出露，了解不到地质构造，并且地震勘探也因地形的影响而不能进行或得不到充足的结果，就需要进行以了解地质构造为目的的钻井。构造井井深一般很浅，多在 500 米以内，沿着被推测的构造大致轴向与垂直方向上，布置一排数口或数排一般深的井。在海域无论钻什么井其费用都是不便宜的，因而很少有仅为了了解地质构造去钻井的，但在地震勘探结果不充分的情况下钻构造井也是有的。构造钻探是以岩芯对比来了解构造为原则，但利用岩屑以及电测也可以代替取芯。

(2) 地层钻井（基准井）是以了解地下深部的地层层序为目的所钻的探井。在一个沉积盆地布置 1～2 口井,尽量钻到有含油希望的地层，原则上是达到沉积盆地的基底，因而深度较大，需要大量经费。因此，除利用岛屿和海峡外，仅以地层调查为目的的钻探例子几乎是没有的，而兼顾地层调查的则比较普遍。地层钻探原来与初探没有直接联系，但是由于钻井需要高额的费用，所以作为井下地质的详查，要尽量取得更多的资料或者搜集情况。因此，钻井时要根据岩芯及岩屑进行岩石学、古生物学的调查以及各种电测井、放射性测井、声波测井、泥浆测井和岩石内流体的调查等。

(3) 初探井　要查明油藏存在与否或查明其规模，钻初探井是勘探的决定性手段。

①初探井能否实施，首先须对由其他勘探方法所取得的资料进行综合研究，对地下状态作出判断，然后再决定其井位和深度。在海上，由于海洋各种条件的影响，初探井经费一般需要陆上钻井费用的数倍。毫无疑问，在钻探前必须对钻探地点的水深、海底地质、气象变化等进行调查，采用什么形式的钻井装置

http://bbs.3s001.com/

涉及到技术和经济性两个方面，要在充分研究的基础上作出决定。另外,在钻井时一定要考虑器材、人员的输送方法以及效率和安全等事项。为减少设备投资，可使用移动式钻井装置。移动式钻井装置有作业时桩脚固定的升降型和浮游状态的漂浮型。升降型是根据水深、海况条件或海底土质等适应性设计的，一般能在水深 100 米内进行钻探 漂浮型有船型和半潜型,半潜型对波浪的抵抗能力较强，工作适应范围也大。

②在陆地附近的初探井，过去的方法是建筑人工岛。如果水深较深,人工岛的建筑就很不经济,所以现在打探井一般不采用此法，而是在钻探成功以后，以油田开发为目的时采用人工岛。这一点同固定式钻井平台一样，一般是以钻生产井为目的而设置并利用,这些钻井装置随着海洋开发的进展,其现状正在改善和稳健发展。

③进行初探井时,必须准备预想剖面图,钻井中尽量努力取得井下钻井资料和数据。同地层钻探一样，尤其要注意可能是储油岩的地层发育情况，油气显示的测定更应引起重视。近来发展了泥浆测井和岩屑气体的定量测量，钻井时的特征是不会被遗漏的。对油层或者气层的可能性地层对比，钻井过程中采用了 DST（钻杆测试器）进行临时的产量试验。根据这些调查和试验结果或以电测为主的各种测试所解释出的结果，对已判明的油层和气层，可顺利地进行完井和试油。

6. 初探的成败

试油的结果若能判断经济性的生产能力，其钻井就是成功的。但是否取得了商业性油田，还得补充初探与详探才能明确储量。

初探的结果若通过经济性判断而没有出油（干井），初探就

http://bbs.3s001.com/

等于不成功。但是由于初探井钻探所得到资料的综合应用，而促使下一次获得成功的例子是很多的。这时要对其进行详细研究以准备继续钻探。

初探井不出油的原因，或者是原来不存在石油生成、运移、聚集的可能,或者是即使是有石油已经散失了。另外,在背斜构造钻探时,因为对地下构造判断有错误,或位置稍有移动,或钻井深度不够，从而造成不成功的探井也很多。极端情况油层被断层错开探井钻不到油层也是常有的。

偶尔由于钻井泥浆对油层的堵塞或因堵水作业不良等，使能够成功的井也有被判断为不出油井，这些技术问题多通过技术人员的合作来解决。

(三)海洋油气田勘探新技术进展

近年来,海上油气化探已在世界范围内展开,各国先后在东西太平洋、墨西哥湾、北大西洋、南波沸特海、澳洲大陆边缘、白令海、北海、地中海、波罗的海、东海及南海等海域开展了油气化探的试验、研究和生产工作。采集的样品包括水样和海底浅表层土样,分析检测的指标主要为烃类气体,此外还有紫外、荧光、$\delta^{13}C$、ΔC、氦、微生物、汞气、金属及 API 指示参数等,几乎陆上化探所使用的检测指标，在海域均已进行不同程度的测试和试验,获取了大量的数据资料。在采样方法和分析测试技术上,不断进行研究和改进,推出了一些快速、有效、低成本的新技术、新方法,现择要介绍如下：

1. Sniffer 技术

Sniffer 系统是应用电子学、化学分析技术和海洋工程知识设计的水下取样、分析及数据处理装置,包括监测仪表系统、分析系统、拖带系统和数据处理系统。在船上,与地震仪器和其他

http://bbs.3s001.com/

设备一起,按照地质勘探的要求,以 6～10 海里／小时的速度在近海海底连续取水样，应用色谱技术分析被溶解的油气中 C_1～C_8 的饱和烃、非饱和烃及同分异构体,可提供 $1～10^{-10}$ 升气／升海水和 $5～10^{-12}$ 升气／升海水的实用检测值。其优点是，在直接测烃的同时，将其他一些海洋参数，如盐度、温度和地表至取样装置的深度，用取样装置上的 CTD 探测器测量出来。同时将卫星导航系统获取的航海资料一并存入资料记录器中，这样就可清楚地了解环境介质对海底油气藏地表及溶于海水中的烃气的影响。用 Sniffer 技术预测一个地区潜在资源的准确度达 85‰。尽管这种勘探技术有缺陷，尚需不断改进，但仍不失为一种快速评价盆地区域性油气前景的一种耗资低、见效快的技术。十多年来,世界各地利用 Sniffer 技术对近海溶解的油气进行了 10^6 千米长的地球化学勘探，收集了大量的数据，现对这些独特的基础数据进行分析，并研究建立了地球化学模式，在极高的置信水平上，用该模式预测了近海地区潜在油气资源。

2. 荧光全扫描技术

荧光全扫描技术是 GERG 在与石油公司多年合作的基础上开发的海上化探方法之一。早在 70 年代,荧光分析便作为气体测量中的辅助地化指标引入化探领域，但它采用的是固定波长的荧光。而石油含有一系列芳烃化合物，这些化合物在不同的发射／激发波长下有不同荧光强度的最大值， TSF 解决了这一矛盾。荧光全扫描也可称为三维荧光全扫描，它能直接测定沉积物正已烷萃取物中的多环芳烃浓度及其环数分布。它是当代用于石油勘探中研究原油组分、原油成熟度、油／油对比以及油／源对比的最先进和最有效的“指纹”分析技术之一。荧光是原油、生油岩含有 1～4 个或更多个芳环结构化合物所固有的一

http://bbs.3s001.com/

种内在特性。不同来源、不同环境下形成的原油,或者不同成熟度的生油岩,具有不同的荧光‘指纹’。该技术的核心是 SCANR 软件程序,按照 SCANR 程序指令,操作 PE－3600 数据站上的键盘,控制 PE650－40UV 荧光光度计的运行。最后获发射波长、激发波长和荧光强度的三维全扫描荧光光谱图和荧光强度等值线图,并自动计算和报告出激发波长 270 纳米、发射波长分别为 360 纳米和 320 纳米下所得的荧光强度比值。

3. NRD 法(自然资源发现法)

NRD 法是一种用于海上油气勘探的新方法。该法由瑞典 Lund 大学于 1981 年首先提出,并在瑞典国家技术开发委员会的支持下,经彼得罗斯坎 AB 公司和挪威的地质及地球物理公司 5 年的试验研究,取得了明显的进展和效果。NRD 法的理论依据是:海面形状变化受地球引力的控制,海水在地球引力的作用下发生变化并进行调节,海面的形态与海面之下埋藏物质的质量分布有关。海面之下物质呈均匀分布时,海面表现为与地球具有相同曲率的等热面,而海面下有密度大的物体时,则由之产生的重力异常将使等热面凸起;相反,若埋藏有低密度物质(如油气)时,重力的负异常可引起等势面下凹。NRD 法采用卫星测高仪,借助计算机叠加技术,把测高数据与一定的参考和校正数据(如波浪、潮汐、海流、卫星运行时间和轨道、地球的椭球体等)叠加,就可极灵敏地监测海面变化,绘制海面图来判明这种异常,并预测海下沉积物中潜伏的油气藏。NRD 法可用于大面积的油气普查,是一种既省时又省钱的勘探手段。勘探实践证明,采用这种方法勘查 4 000(千米)^2 的近海海域,仅用 2 个月时间,费用仅为常规方法的 10%。同时,对于已用地震法确定的地下构造,采用 NRD 法进行检验,可以指出哪些为可能含

http://bbs.3s001.com/

油气的构造，哪些为无油气的“空”构造。目前，NRD 法已在北海、地中海、阿拉伯湾、墨西哥湾等海域进行试验，结果表明利用 NRD 法对探区的预测与实际钻探结果有很高的相关性。在这些地区已钻初探井 300 余口，其间用 NRD 法预测的成功率大于 70%，特别是用 NRD 法预测应为干井的成功率达 100%。由此可见，用 NRD 法在近海海域进行油气勘探极有可能提高油气勘探的成功率。

4. 海底烃类渗漏的遥感检测技术

由 Barringer 公司 1985 年发明的激光遥感检测系统，是从飞机或其他活动运载装置上确定海中烃类渗漏的一种方法。它是把来自人造光源的强烈的定向激光束射向海面，并在运载装置上观察上述光束在海面附近产生的反射和生物发光。已经发现，气体渗漏常常伴有光在水中散射增强的现象，同时，水中发育的微有机体也增多。该发明选用由激光产生的一个强光束，在飞机飞越的范围内向下瞄射。光束是以脉冲形式输送的，光的波长严格选用蓝色光或紫外光，以便使其在水中的散射达到最大的敏感度，同时能激发悬浮状微生物体发光。这项发明提供了一种远距离确定烃类存在的方法和仪器，并能快速完成测量工作，与常规技术相比费用较低。不过，目前用该技术进行地面勘探还不具备商业价值。

除了用各种检测手段获取海上油气化探的直拉和间接指标的数据外，一些研究单位和石油公司还综合地震反射、航空磁测、遥感及重力数据来解释、判断勘探区的异常。物理勘探和化学勘探相互佐证，采用多重相关法的情况下，可望使预测的准确性和成功率得到改善。同时，在确定做较昂贵详查的靶区时，通过用物探、化探技术把区域规模到详查规模的不同资料综合起

http://bbs.3s001.com/

来，还可以大幅度地降低勘查项目的成本。有的石油公司在进行物探施工(包括地震、重磁等)的同时,结合进行油气化探采样和测试,在同一工区同时获得各种物探、化探资料,以利于进行综合判断。如 BMR 在开展澳洲大陆边缘海上油气勘探的工作时,就是将嗅探器与地震反射仪等设备安装在同一工作船上,直接在地震点上获得化探信息。

四、海洋油气田的开发技术

(一)海洋油田开发方法

1. 油田开发评价

“开发”是相对“勘探”而言,包括自勘探发现油层后从钻生产井到集油、输油、储油、装运等设备的建设及包括管理在内的油田作业的全部内容。

表示油田开发投资合理性的指标是利润率，但影响其成本的开发投资额、初产量、生产递减率这三个要素是相互关联的，在某种范围内又是可以人为改变的变量。从这种情况出发，对开发投资中占有很大比例的钻井工作，在选择井数与布井方案时要限制到最小限度（采用合适的井距）；要以尽可能持久地自喷产油并以维持稳定生产规模的速度进行生产（确定合适的产量及最大的有效采油速度）；要通过应用二次采油方法和合理的生产管理,预防产量急剧递减(缓和采油递减率)。

考虑以上因素，需要拟定最经济的开发计划。油田开发之前，要研究哪一种开发方法在技术上最为合理而且经济上最合算。判断油田开发价值的评价方式称为可行性研究。当勘探进行到某一阶段时，对已取得的勘探成果进行综合研究，同时根据

http://bbs.3s001.com/

油层技术预测将来，亦可用来判断今后应否追加投资。

据可行性研究的结果所决定的方针，一般有下列四种情况：继续勘探 停止勘探(放弃探区) 通过详探追加评价作业(再次确认开发价值) 向开发阶段过渡。

如前所述，向开发阶段过渡就是决心大幅度地追加勘探费用，因而必须尽量搜集与项目有关的资料，在慎重研究的基础上来决定 油田规模 钻井计划 采油计划 开发设备计划 销售计划 生产管理计划 二次采油计划 资金筹措计划 收入估计 利润率计算。

这时要计算出可采储量，并以油层技术预测未来的生产动态（油层动态或采油动态）。因此，油层技术作为从一个油层中最经济地采出最大数量油的采油技术，在可行性研究中是不可缺少的手段。

2 开发计划

(1) 制订计划的基础 在拟定生产井的钻井、生产规模和采油方法，一直到采油、输油、储运设备的设置的油田开发整体规划方案时，准确地尽早掌握油田规模、油层性质、地区选定条件等三要素是极其重要的，其基础资料几乎全部是测定、计量、分析的实测值。

油田规模（储量及产量）是支配开发方法和开发投资额限度的最重要的因素，是该油田的可采储量和每口井的生产能力。据此来确定井数、生产规模、生产时间等油田经营的基础条件。每口井的生产能力用最初日产量或每口井的可采量来表示储量相同的油田,由于平面上的广度(产油面积)、埋藏深度以及油层层数不同，开发方式与开发费用也就大不相同。

可采储量的定义为：将储藏在油层或气层内的原油和天然

http://bbs.3s001.com/

气，换算成在地表状态的数量中今后的技术、经济上可以采出的数量。按照储藏的准确性，可将储量分为探明储量、推测储量、远景储量三种。应用容积法、物质平衡法、递减曲线法可以计算出各储量值。

在油田开发初期，可使用的计算方法只有容积法。物质平衡法和递减曲线法只是在生产相当长时间、积累了与这一段时间内油层的压力、容积、温度的所谓高压物性有关的测量计算数据之后，才有可能进行可靠的计算。运用递减曲线法计算可采储量的一个例子见图 27。

为了掌握油田的生产能力进行敞喷试油，不仅会带来危险，而且会招致油层垮塌和压坏套管，很有可能缩短油井寿命。所以，实际上试油时使用直径 2～12 毫米各种口径的油嘴，限制出油量，通常要在测量 3 个不同油嘴的产油量和相应的井底压力变化后，计算采油指数、判定生产能力（气井的场合要做回压试验）。

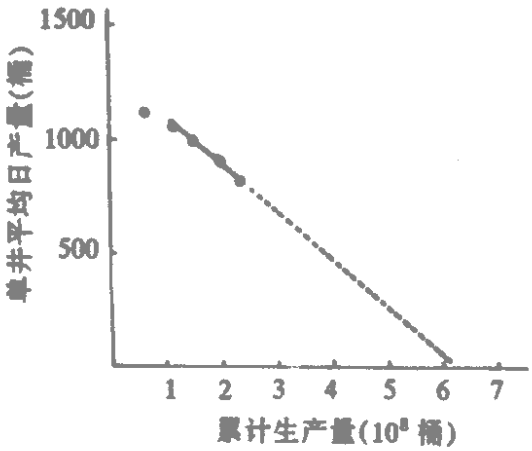


图 27　采用递减曲线法计算可采储量(利比亚 Dhara 油田）

在掌握油层规模概况的同时，还要掌握如图 28 所示的油层构造形态和油层内流体的分布状况及其性质，掌握其压力与温度的关系，进一步掌握油层岩石的性质等，尽快弄清此层是“油层”还是“气层”，这些油和气是靠什么能量排出来的（驱油能量),这对提高采收率很重要。

掌握图 28 所示的油气接触面和油水接触面，对于决定井位

http://bbs.3s001.com/

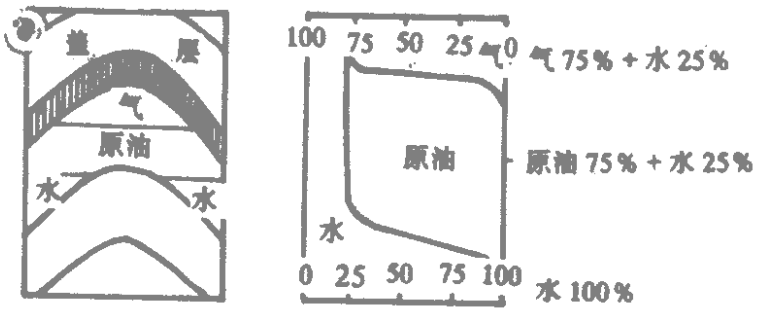


图 28　油层流体分布模式示意图

置非常重要。因此，包括放射性测井和声波测井在内的测井技术是不可缺少的武器。此外，还有其他各种测井和试验技术，比如生产测井、转子流量计测量、地层测试、钻杆测试等，对了解地层内流体分布亦为有效。因为上述油气水的接触面随着生产的进行而不断移动，为使这个移动面均匀而且保持一定的移动速度，就要经常进行监视，为此有时候甚至需要钻观察井。

一般认为，油层本来大都是由海相沉积层形成的，油层岩石大都具有亲水性界面，水的表面张力大约是油的 3 倍，由于这些原因，浸透进岩石毛细孔隙内的盐水，虽经其后运移来的油和气驱替，但总是排不尽而残留下来。孔隙水饱和率（含水饱合度）不仅是前述储量计算的要素，而且其大小还是判断油层和气层是否达到开采层(产油地带)的基准。在日本，若测井的结果证明孔隙水饱和率大于孔隙容积的 60%～65%，一般认为不得作为经济的油层井。

油层内的油和气，因密度不同，在分布模式上如图 28 所示那样分异。但实际上，产气和油没有气顶的油层和几乎不伴生液体的游离气层也并不罕见。归根结底，即使同一组分的碳氢

http://bbs.3s001.com/

化合物也根据其埋藏地层的压力和温度有一个气一液平衡常数,表现为或呈气态、或呈液态、或者气液两相共存状态。图 29 即是根据碳氢化合物多成分系的压力、温度状态对油层进行分类的实例。

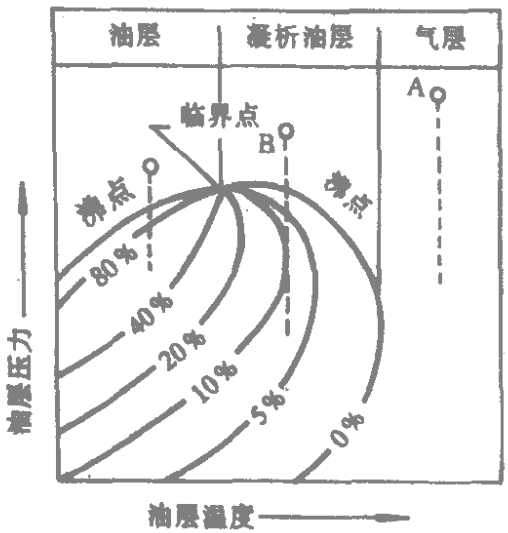


图 29　多成分碳氢化合物的压力、温度状态

油层的压力和温度的实例可见表 9。一般油层压力与垂向深度的水柱压力相等或者略高，油层温度有每 30 米升高 1℃ 的趋势。但如表 9 中所列的日本见附油田 GⅡ 层那样,也有远远超过上述标准的高温高压层。

通过对井底采集到的流体样品在实验室加温加压的处理，可以再现流体在油层中的性态 反之,通过对流体减压试验,能对流体性质作进一步验证。这被称为井底资料分析。据此可判断油层容积系数(在油层内溶解气体而膨胀的原油,换算成在地面上的温度、压力下所占的容积的换算比率）以及溶解油气比、溶解气的汽化压力(泡点)、油层内流体的粘度等。

http://bbs.3s001.com/

表 9　　油气层性质实例

油气层	片　贝	云出 1 750 米层	见附 GⅡ层
分　类	气	气—凝析油	重质油
深度(米)	1 050	1 750	1 850
有效厚度(米)	32	30	30
岩　性	石英安山岩质凝灰角砾岩	石英安山岩质凝灰角砾岩	石英安山岩
孔隙度(%)	25	30	20
渗透率(微米^2)	0.54	1.81	0.42
含水饱和度(%)	45	35	30
初期地层压力(兆帕)	9.70	24.60	26.17
井底温度(℃)	38	83	90
油气比	∞	3 556	144
井口压力(兆帕)	9.31	20.38	14.80

另一方面，分析分离出来的油、气或水，特别是了解油的密度、含硫量、粘度、馏分、含蜡量，气的组分、密度、发热量，以及水的含盐量等性质，不仅对油层的对比有用，而且对产出物的价格估算和输油管线的设计也是有用的。因此，事先摸清样品的采集条件(采样地点和压力、温度)是非常重要的。

油层岩石的性质和厚度可通过各种测井了解到，表示储油岩能力的孔隙度也可以采用微电极测井、声波测井、γ 射线测井等多种测井方法获得相当高的精确值。然而，对于衡量油层岩石流体通过能力的渗透率，用测井解释确定目前还很困难。渗透率可以根据岩芯分析、测井底压力和求产来获得。前者多获得空气和水的绝对渗透率的值，后者因在井底测压和求产时，油层内含有孔隙水，是油和气在流动时的油的渗透率，所以称作有效渗透率。

http://bbs.3s001.com/

孔隙度是与油层岩石总体积相对应的孔隙容积，以百分比表示,砂岩为 20%～40% ,石灰岩、白云岩等裂缝性油层为 5%～15%。

渗透率的常用单位为微米^2,对生产层而言,砂岩为 10^{-1}～10^0,石灰岩、凝灰岩等硬质岩为 10^{-3}～10^{-2} 范围。有效渗透率与绝对渗透率的比率称为相对渗透率，是预测油层产量变化时的重要参数。

如图 29 所示，即使同一组分的碳氢化合物系统，由于地下压力温度条件不同,有的是油层,有的是气层。因此,根据主要产出物的种类可对矿藏作出分类,表 10 所列是根据在地表上的特性(油气比、液体密度、气体组分等)分类的结果。

表 10　　碳氢化合物矿藏对比分类

成　分	重　油	挥发油	气—凝析油	干　气	气
C_1	48.83	64.36	87.07	95.85	86.67
C_2	2.75	7.52	4.39	2.67	7.77
C_3	1.93	4.74	2.29	0.34	2.95
C_4	1.60	4.12	1.74	0.52	1.73
C_5	1.15	2.97	0.83	0.08	0.88
C_6	1.59	1.38	0.60	0.12	
C_7^+	42.15	14.91	3.80	0.42	
小计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
C_7^+分子量	225	181	112	157	
油气比	110	360	3240	18700	∞
液体颜色	浅绿黑色	中等黄色	浅草绿色	水白色	

在开发之前，首先要确定生产对象为液体还是气体。因二

http://bbs.3s001.com/

者开发方式和生产方式不同，必须尽早作出判断。

油层类型大致区分为：溶解气驱型（枯竭型）、气顶膨胀型、水驱型。

日本八桥油田的Ⅷ层、Ⅸ层和田麦山油田可说是溶解气驱型，见附油田的油层、滕川油田的气层和以卡夫奇油田的巴伦层为代表的中东很多油田属水驱型。但在实际的油层中，组合的情况也多见，而且任何一种情况都有重力作用在内。

油层的驱动类型可以通过试油、PVT分析生产动态曲线等加以判断。仅靠自然能量，采收率则会按水驱型(35%～75%)、气顶膨胀型(20%～40%)、溶解气驱型(5%～30%)的顺序减小。因此，在决定生产井的井位和生产速度时，必须注意防止降低采收率，另外要考虑应用二次采油法以提高采收率。

所发现的油田位于陆地或海上，距物资的补给地和基地的远近，到装运港口及消费地的距离等，直接关系到此油田的开发价值和开发方法。

在陆地上,主要会碰到沙漠、平原、山地、城市等选地条件问题,而在海域则有水深、海底土质、离岸距离、海况和气象等多方面的因素影响开发的成本。

(2)采油计划

①在油田开发的基础条件明确之后，就要钻生产井并形成生产井网。一般来说，一个油层的采收率不因井数的多少而增减，但要受油井布局的影响。钻井在开发投资中所占的比例非常大，最初所需资金要根据井数而变动，开采计划的合理性具有支配油田开发的经济性的重要意义。希望在短期内获得利益而多打井、加快生产速度，反而往往被钻井数增加支出也增加相抵消。因此，选择最大受益的合理井数是勿庸置疑的。确定井数

http://bbs.3s001.com/

（或确定井距或布井）首先是个经济问题。应用数学计算或图解的方法可解决这个问题：

$$井距=\frac{1口井钻井费用+1口井采油费用}{每1平方米采出油量\times油价}$$

$$井数=\frac{产油面积}{井距}$$

$$井数=\frac{总投资}{(油价-单位产量平均采油费)\times 1口井总产量}$$

计算几种不同井数的投资额和收入之后，可用图解方式求出获取最大纯利益的井数(图 30)。此外，还有从理论上用线性计划法或解析法求出井距的方法。

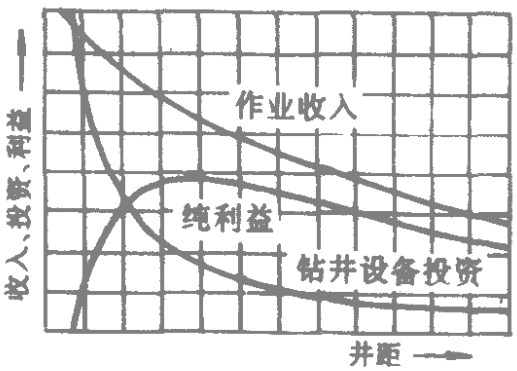


图 30　最佳井距图解法

总之，井数少，投资总额过大的风险也就小，所以，一般都采用大井距的方式。在第二次世界大战前，日本也有采用 20～30 米极小井距的例子。最近，油田的井距为 150～400 米，气田有的高达 500～800 米。表 11 给出了世界各油田井距的若干实例。

一旦最佳井数确定下来，如果油层是均匀的，对各采油井可以按正方形或菱形网格状有规则地布置。根据油层形状，为了多采油，也可以不规则地布井。另外，在气顶及边水线附近一般不布置采油井，以避免驱油能量消耗得过快，这是常识。

http://bbs.3s001.com/

表 11　　各国油田井距

油　气　田	国　　名	井　　距
阿拉斯加油田	美　　国	160 公顷
阿拉斯加气田	美　　国	640 公顷
得克萨斯油田	美　　国	80～160 公顷
兰特油田	印度尼西亚	300 米
卡夫奇油田	中 立 区	1.6 千米
南卢马伊油田	伊 拉 克	1.6 千米
圣 里 路	利 比 亚	1 千米

②钻井计划。钻井费用主要取决于钻井装置的种类和作业时间。开发阶段的钻井与初探阶段不同，因为目的层的深度、地质、地层压力等井下条件已知，而且井下测试次数也少，所以有可能尽快地制定准确的采油井钻井计划。

钻井装置的种类和数目　　使用的钻井装置的类型,在陆地上基本上是由井深来决定的，地层的软硬、出水层和漏失层的存在、油层压力等只附带地加以考虑。至于海上，对钻井机械及其性能的选择条件与陆地基本相同，但对装载钻机的“驳船”的类型的要求，由于以水深为主的海洋条件的不同而有明显的差异。拖航距离、作业水域的开阔程度、作业期限、物质补给和人员倒班所需要的时间等各种条件，也要综合地加以研究，方能决定设备种类。钻生产井大多数是从一个基地进行集中钻井。如果对井口装置和生产设备的设置的方便程度也加以考虑，那么我们认为，目前在某一水深范围内，还可以继续应用固定式平台。在开发阶段，需用几台钻机同时作业，要由油田的规模、合同上的开发期限、生产集输设施的完成日期、销路、资金周转等多种因

http://bbs.3s001.com/

素来决定。例如 颍城油田最多投入 7 台钻机,卡夫奇油田常用 2 台钻机钻井。一般情况下，大都在第三年至第四年结束的第一阶段,并以全面作业的速度进行采油。

钻井方式　在开发阶段,一般从一个基地集中钻多口井,通过缩短钻井机械的作业时间和实施生产的集中管理，来达到降低开发成本之目的。这是因为最近由于大斜度钻井技术的进步,可以以超出必要井距的偏距在油层布置井底。另一方面,大斜度井(如超过 30°～40°)，也会产生难以测定井底压力和采集井底资料的问题。在油层比较浅和井距比较大的气层，钻斜井不一定得当。但这种情况下油层若有两个以上的话，也可以集中钻直井，在一个基地上排列有几个采油树并不罕见。但也有采用在一口井中同时从两层或三层采油的两层完井、三层完井的单井合采的情况。随着大水深海域油田开发技术的发展，把采油树装在海底的水下完井法早已达到了实用阶段。只要钻井的深度、使用的钻机的类型和钻井方式确定下来,就要以此为基础,进一步拟订套管程序、使用泥浆的类型、测井(包括取心及钻杆测试)、使用钻头和井径、钻斜井(方位、偏移距离、角度等)的计划。因为海洋钻井供水困难，也有使用海水泥浆的情况。此时要有与之相应的电测和固井工艺。

钻井工程管理　海上与陆地情况不同，地层条件也有若干不同,但是生产井深如为 3 000 米,每年完钻 5～6 口井是不怎么困难的。但其前提是要完全地钻过具有泥浆漏失、井喷危险的低压层和高压层，要适当地调整泥浆和防止卡钻以及工具的脱落等井下事故。因为延误钻井工程一天，在陆上要招致增加 3 000～6 000 美元、海上要增加 8 000～15 000 美元的承包费用。预防火灾、人身事故、钻井事故及采取适当处理措施,在现

http://bbs.3s001.com/

阶段大都依赖于钻井技师的熟练程度和责任心。所以，今后如不考虑钻井装置本身的大型化，对钻井中井下状况的信息传递以及与之相应的钻机的运转和泥浆调整的自动化（即所谓电脑钻井）将是今后研究的课题。

③完井方针。完井与其说是钻井的结束，倒不如说是采油作业的开始。完井作业的方针合理与否，有时甚至会使钻井成果前功尽弃。制定完井方针时，特别要考虑避免由于完井时泥浆和水泥浆侵入油层而造成出油通道的堵塞。

完井方法　油层部分的完井方法有衬管完井、裸眼完井、射孔完井等。要按照油层的岩性、油层压力、油气水层的分析情况适当地选择。

增产采油方法　对石灰岩层和受到水泥污染的油层，要采取以硫酸为主的酸化处理。对低渗透性油层和产生上述障碍的油层，要用压裂处理，这会产生改造生产性差油层的效果。对垮塌性或膨润性油层要采用胶结化处理以确保出油的试验也正在进行之中。

(3) 生产计划

①合理的采油计划：一旦已知储量和每口井平均生产能力，又确定了井数，那么对油田的总生产能力也能自然而然地确定下来了。但是，因为生产能力的递减是不可避免的，对开发一个油田的企业来说，除非另有正在勘探开发中的油田，否则即使目前此油田的能力下降，也要尽可能地将生产规模维持在一定水平上，实施稳定的计划生产。

稳定生产规模的确定　维持一定的生产规模，稳定企业经营基础，可以缓和自然递减率和提高采收率，避免投入过量的生产设施（避免设施早期闲置）。为此，既要考虑矿区开发合同规

http://bbs.3s001.com/

定的生产期限和企业的可采年数(R/P)目标值等,同时还必须一并决定其油田作业期限。

作业期限和可采年数　经济地采完某油田储量的时限即作业期限。作业期限受矿区合同期限、必要的前景预测、油价的动向等外界条件的影响。但是，决定作业期限的主要因素是开发油田的企业的经营方针。石油企业在扩大生产的同时继续勘探,通过扩大储量求得经营的生,这是理所当然的。作为其勘探生产的目标，通常使用可采年数(R/P)的概念。R/P是某一时间(如某年底)的可采储量和那时的年产量之比,也有称之为油田寿命指数的，一般要求至少保持在10以上。即使在开发阶段,这个指数也很重要,应从各井合理生产率的总计中确定稳定的生产规模，并以此为基础来调整生产。

最佳采油速度　最经济、最大量地采出根据采油井试油结果确定的产量的采油速度,叫做最佳采油速度(最大有效采油速度)。最大有效采油速度是假定油层都是均匀的,则各井采油速度均是相同的。但实际上油层的渗透率和含油饱和度的分布是不均匀的,或者由于与气层、水层的距离等关系,每口井的产量是有差别的，即使是同一个油层的油井其最大有效采油速度也不一定相同。最大有效采油速度的确定一般要考虑下列各因素：

压差保持在5%～15%；

控制油气比的异常上升；

控制含水率的急剧上升；

保持自喷井井口压力在分离器压力以上(自喷持久化)；

保持自喷量在分离器能量以下；

天然气井控制在敞喷能力的10%以下。

http://bbs.3s001.com/

上述为一般原则，因油层的驱动类型不同也应有所区别，在任何一种情况下，为了防止气和水的锥进或指进而浪费驱油能量，希望以较低的速度开采。对于溶解气驱型，限制油气比；对气顶膨胀型，使油气接触面稳定均一；而对于水驱动，为了保持边水线均匀，亦应调整采油速度。这种生产调整，本来起源于美国限制油田生产过剩，后来成为提高采收率防止资源浪费的措施，所以也可称为资源保护。

②自喷采油和人工采油：保持长期自喷采油是降低采油成本的最有效手段。为此，通过装在采油树出口处的油嘴或可调阻流器限制产量，以求达到维持自喷的驱油能力。在此情况下，最大有效采油速度成为能够维持自喷的采油速度。

作为自然现象，油层压力不可避免地下降。因此，在间歇性自喷的后期，可通过增减油嘴口径和套压（在套管和油管之间注入适当压力的高压气体），以求延长自喷（如兰特油田简易气举），采用这种措施延长自喷已达极限时就要转入人工采油。人工采油即气举和用泵采，前者是在油管内装几个流量阀，通过外界压力向油管内注入天然气，减少油管内的液柱，诱导自喷；后者主要是将深井柱塞泵装在油管前端抽吸液体。气举中当然需要压缩气源，泵采则要动力源。除设备费用外，维修管理也很棘手，所以在海上采油采用此法受到很多限制，最好使用水力活塞泵和 Reda 公司深井泵。

③一次采油和二次采油：所谓一次采油，是以自然能量来采油为前提。但是仅靠一次采油，通常只能达到 20％～40％ 的采收率。对油层施以气、水、热等人工能量，力图提高采收率的方法，称为二次采油（如从这个定义出发，前述的压裂和酸化处理不能称为二次采油）。二次采油作为油田的返老还童法，过去大

http://bbs.3s001.com/

多应用于一次采油的末期，但现在从开发初期就加以利用，以提高采收率和维持压力。二次采油有注水法、注气法、热采法、注液化气法等。前两项应用历史较长，在日本应用于八桥油田取得了效果。热采法在美国加利福尼亚州特别盛行，通过注入热蒸气和火烧油层火驱，收到了明显增产效果，注入表面活性剂的增产方法也正在发展中。二次采油提高采收率的方法如应用得当，可以说是和勘探作业一样为增加可采储量的有效手段。

当然，二次采油并不是无限的适用于一切驱油类型、油层、渗透率、深度、倾斜等油层条件。例如：对于水驱型的油层用注水法是徒劳无益的，火驱法仅适用于重质油层。二次采油时，采油速度或注入速度也会影响采收率。以不必要的高速注入，易引起窜槽，为了不致降低采油效率，必须保持注入前缘的均匀。

海上油田采用二次采油所受到的限制要比陆地多，这是不可否认的。但注气和水驱法（特别是注海水）可望产生与陆地相同的效果。

(4)设备计划

①油田设施的特点及动向：油田的设施与其他制造产业不同，具有如下特点：设施的布置涉及范围广；几乎都是露天设施(海上或野外)生产规模缩小是不可避免的 使用高压易燃性危险物。电力、煤气工业虽然也有类似的条件，但其生产规模的变动视其需要的增减人为地进行调整，而不像油田那样找不到一条可遵循的路线，在这点上有很大的不同。油田设备费用和钻井采油费加在一起占开发成本费用的很大比例，但设备投资的合理程度最终取决于对上述设施的特点如何处理上。因此，在油田设施方面，要特别考虑设备的集中化、操作的遥控自动化，提高可移动性，强调安全性等。

http://bbs.3s001.com/

②油田设备系统：生产阶段油田的设备，从生产工艺看，大体上可分为集输、现场处理、储油、输油管线、储运五个系统，其他还有与基地建设相关的附属设备。实际上，要通盘考虑地区选择条件、生产规模(油气水的日产量)、生产物的质量(压力、温度、油气比、组分)等，采油井数与分布，天然气利用计划尤其是需要量和所需压力诸条件，组合成上述的 5～6 个系统。采用技术上最合理且最经济的设施方式，各系统所用的设备类型、性能、规格、容量、数量等要根据上述各条件来确定。

集输系统　包括井口装置（采用耐压、高低压截止阀，油嘴的形式)，自喷管线(根据不同井敷设)，集油站(分离器形式和系统列数、分离段数、分离压力、计量方法)，采气装置(减压和由此产生的防冻所必要的间接加热器和低温分离器装置）。

现场处理设施　原油处理需用乳化液处理装置（加热、添加剂、高电压附加型式的选择)，防蜡措施(加热、添加分散剂)，简易初馏(采集自用汽油)，集化器(油砂粗原油的处理)天然气处理需要预防水化物（选择线性试验装置 LTS、乙二醇吸收法、氯化钙吸收法、硅胶吸附法)，液化石油气或液化天然气的制造(轻质油吸收法、活性炭吸附法、氨冷冻等汽油设备)，压缩设备(气举、注气、地下储存用)水处理需要废水处理装置(注入废水井、净化装置），注入设备（密封式或开放式注入用水的净化灭菌装置)。

储油罐　设置地点(现场、装运港、海上)，容量(10 天日产量以上或 1 艘常用油轮装载量以上)，基数(接收、储存、外输三项作业能平行进行的最少数量)，形式(浮顶式、圆锥顶式等)。

管线　原油和天然气的价格大多在油田交货时确定（所谓现场价格或井口价格）。但是，海上和沙漠腹地开发的油田，到

http://bbs.3s001.com/

装运港铺设大口径长距离输油管线的情况在增加，公布的原油牌价为装运港的离岸价格，在波斯湾和北非这已成为惯例。因此，输油管道铺设费在开发成本中也就成了不可忽视的重要因素。然而，与其他设备相比更缺乏能力变更的适应性，所以在确定管径和工程开工之前，需要慎重研究。设计、施工的重点是流量、压力(管径、规格、长度)、焊接方法、铺设方法(埋深、地表配管、海底铺设)、防腐涂层(涂装、混凝土涂层、电防腐),运转上的问题主要是泵站(间隔和人员配备)、输油管理、管线维护(遥测仪、遥控装置的应用）和采用密闭式自动化输送(LACT)。

储运设施　装油泵（在两昼夜内装完一条油轮，不致产生滞船的流速),装运线(水深、总长、管径、个数),装运设施(单点系泊或常规栈桥形式、水深、潮流、安全水域面积，进出油轮的船型,人员常驻的必要性),液化气设备(天然气输出的可能性)。

附属设施　宿舍、办公室、仓库、加工车间、发电站、海水淡化设备、道路、机场等，这些设施最好接近油田。海上油田除非邻近岛屿，否则基地要设在陆地上的适宜位置。

③海洋生产设施的布置方式：海洋石油开发进一步移向深海，生产设施布置与陆地的差别就愈益明显起来。

对海洋油田设施布置方式影响最大的，仍是水深和到海岸的距离。为适应水深，发展了各种开发技术，但得到最广泛应用的仍然是固定式平台。有的生产平台设置在超过 100 米水深的海域，井口装置除特殊者外全部都设置在平台上。因此，在现阶段，根据离岸的距离，生产设施的布置方式各不相同。离岸很近时(如日本秋田冲油田,水深 15～17 米,离岸 2 千米),除井口装置外，所有装置均在陆地。离海岸较近时（如卡夫尼油田，水深 30 米,离岸 40 千米),井口装置和集油、输油设备放在海上平台

http://bbs.3s001.com/

上，储油罐在陆地。离海岸较远时（如迪拜油田，水深 40～55 米,离岸 104 千米),全部设施均放在海上,储油罐做成水下型。

固定式平台的建造费用随着水深而增加。据壳牌公司在墨西哥湾的经验,如以水深 15 米为 1,则 100 米水深为 3.5,而 200 米时要达到 10～12。另外，据波斯湾的工程实例,45.7 米水深采油平台的建造费用为 30.5 米水深的 1.7 倍。因此,设置固定式平台的水深在经济上的有一个限度。有鉴于此，今后不但井口可在海底设置，在不久的将来将会实现包括输油管线在内的生产设施在海底设置和在海底检修。例如，现在试验研究用机器人遥控操作和潜水作业船作业，据说由于潜水作业技术的进步，水下储油站的设备也正在研究之中。对海上、尤其是对海底井口压力和流量的遥测，流量的遥控或自动控制，井口的遥控开闭等自动化项目的必要性，远远超过陆地油田。

④施工时期主要根据油田储量和生产能力或稳定的生产规模来确定生产设备的能力。但是在生产发展到某一阶段后，储量和生产能力可以进行更为精确的计算。在油田开发初期，不可避免地会出现由于资料不足而造成的投资过大或风险过大。但当邻近已有开发的油田时，根据预探井的位置和井数、其成功的程度、地质和物探资料齐备的程度，即使在开发初期，也可能做出大幅度地减小风险的判断。这样可根据判断从最初就决心进入全面作业，也可能分阶段扩大投资。尽管风险小了，但局部发生重复投资的浪费仍很难避免。对成功的预探井可长期进行试采,亦可追加详探井,完成采油井网,投入全面作业。

3. 生产管理（生产动态的预测和追踪）

(1) 日常的测试计量　　为了观察计划性生产开始后的动态,要充分注意产量的递减、压力下降、油气比的上升、含水量的

http://bbs.3s001.com/

变化等。要极其细致地进行日常的测试计量及分析工作，这在实施合理的生产管理上是极为重要的。对集油站的油、气、水的计量，各井井口及井底压力的测定，井底资料的分析，可提供基础数据，通过不断积累，绘制出递减曲线，进行物质平衡的计算，从而能在早期确定驱油能量、提高储量计算的精确性。

（2）生产动态的预测

①历史拟合：根据整理的测试计量资料，设想各种模型，计算出以和过去的生产经历相同的速度进行生产的压力下降情况，选择与实际情况最相似的模型，使用计算公式对参数处理，都需要进行大量的计算。当然，在计算中，对油层的均质性、各相的动态、流动状态等一般是以假定为前提的，但这在预测油层未来中是不可缺少的。

②将来动态的预测：选定与以往的经历最近似的油层模型，设想今后的生产标准（如生产压降百分数、油气比或相对敞喷生产能力的比例等），计算出在这种情况下生产时的压力降，预测将来的生产动态。对应用注水法和注气法时也照此办理。与其后的实际情况相对照，再一次进行历史拟合，反复预测将来。

（3）生产作业（油井维护与油井大修）监视采油井机械故障和井口出油障碍(蜡堵和砂堵),以便顺利地保持自喷,这是不言而喻的。通过日常的测试计量及早掌握不可避免的自喷压力下降、窜槽、水锥等井底现象,并为此采取适当措施,这是自喷采油作业的要点。维持自喷或延长自喷时间的措施以及其后向人工采油过渡的作业（下气举阀和泵），统称为油井维护作业。此外，当油层枯竭失去经济价值或油气比、含水量上升时，或者采用回填在浅层完井，或者向下深钻在深层采油，或者在同一油层再次进行完井作业，统称为修井作业。为完成此项工作，在陆上

http://bbs.3s001.com/

有车装的或履带式的修井机在油田中流动作业，海上油井则使用驳船型修井机。

因采用二次采油的时间正在逐渐提前，通过较早掌握油层的驱油能力和生产动态,选择适当的二次采油方法,只要不失时机,就可以实现提高采收率的目的。

(二)海洋移动式钻井装置

海洋移动式钻井装置是很复杂的设备。依照钻井的发展趋势，出现了四种基本类型的海洋移动式钻井装置：坐底式平台、自升式平台、半潜式平台和钻井船。典型的演变过程如图 31 所示。

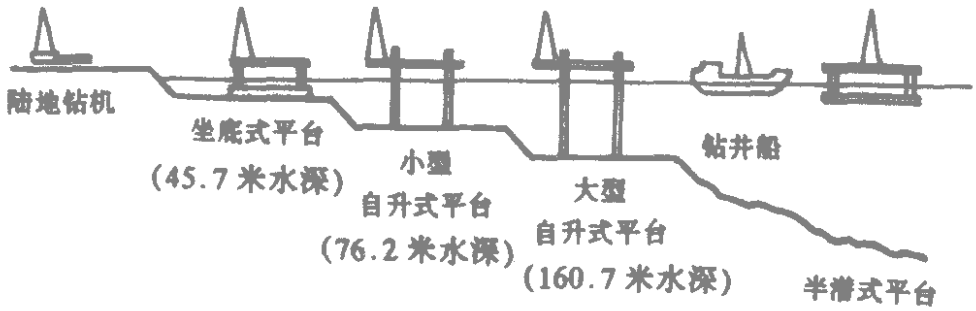


图 31　海洋移动式钻井装置的典型演变过程

到现在,固定式平台的工作水深已达 106.7 米,在这里我们只讨论移动式钻井装置。

1. 坐底式钻井平台

坐底式钻井平台有时称为沼泽驳船或营地驳船。这种类型的平台用于浅水，例如河流和海湾，通常水深不超过 15 米。不过，也有一座坐底式钻井平台曾用于 53.3 米水深。坐底式钻井平台有两个船体,上船体有时称为‘得克萨斯’甲板,用作钻井队

http://bbs.3s001.com/

的住房和设备仓库，钻井则通过船尾悬臂结构上的开口（即船井)进行。下船体是压载区,在钻井时也用作基础。

坐底式钻井平台像普通的驳船一样,漂浮到打井位置,压载后坐在海(河)底。下船体的设计要能够经受住全部装置和钻井时的载荷。

这类平台在压载时的稳定性是一个关键因素。事实上，由坐底式钻井平台发展起来的技术已经成为半潜式钻井平台压载方式的基础。有趣的是，第一座半潜式钻井平台就是用坐底式钻井平台改装的。然而,今天坐底式钻井平台在逐渐消失,因当前水深的要求已超过它们的能力。

2. 自升式钻井平台

第一座自升式钻井平台是‘德朗”1号钻井平台。第一座移动的自升式钻井平台是“德朗一麦克德莫特”1号,后来被命名为滨海公司51号钻井平台。随后，就是格拉斯考克钻井公司的“嘎斯先生”Ⅰ号和滨海公司的52号钻井平台。这些自升式钻井平台都有多根桩柱或桩腿。后来，出现了第一座三腿的自升式钻井平台。该钻井平台是扎帕塔滨海公司的R.G.列托纽自升式钻井平台“天蝎号”。它是具有独立桩腿的自升式钻井平台，在桁架式的桩腿上使用了齿条和齿轮升降系统。该钻井平台成功地工作了若干年，但在墨西哥湾一次移位航行时沉没了。紧跟着‘天蝎号’的是滨海公司的54号钻井平台。这座钻井平台在它的桁架式桩腿上使用了液压升降系统。伯利恒钢铁公司建造的‘嘎斯先生”Ⅱ号采用液压升降系统的沉垫支承式装置。

早期的自升式钻井平台主要设计用于美国墨西哥湾地区，水深不超过61米。把波高6.1～9.3米、风速113.3千米／小时作为这些平台的设计依据。在大多数情况下，如果发生迫在眉

http://bbs.3s001.com/

睫的飓风，钻井平台就要撤回避风区。现在的自升式钻井平台在 10 年前认为是不可能在公海的环境条件下工作。

(1) 76.2 米水深设计的钻井平台标准范围

①美国墨西哥湾沿岸： 16.8 米波高、201.2 千米／小时风速、最小的海流。

②北海：22.9 米波高、185.1 千米／小时风速、1～2 节(海里／小时)海流。

③东南亚： 9.1 米波高、160.9 千米／小时风速、最小的海流。

(2) 91.4 米水深标准范围

①美国墨西哥湾沿岸： 19.8 米波高、201.2 千米／小时风速、1～1.5 节海流。

②北海：27.4 米波高、201.2 千米／小时风速、2～2.5 节海流。

③东南亚：15.2 米波高、185.1 千米／小时风速、0.5～1 节海流。

这些数字虽然来源可靠，但不应认为是一成不变的。实际的标准必须由实际的钻井地区的气象条件来确定。可以看出，标准是因地区而异的。

最大标准的平台只能在美国墨西哥湾 106.7 米水域和北海小于 91.4 米的水域工作。现在已经发展了一种新型的自升式钻井平台(图 32)，可在水深超过 121.9 米的海域工作。

自升式钻井平台的设计一般可分为两种基本类型：独立桩腿自升式钻井平台和沉垫支承自升式钻井平台。每种平台各有其特殊性。

http://bbs.3s001.com/

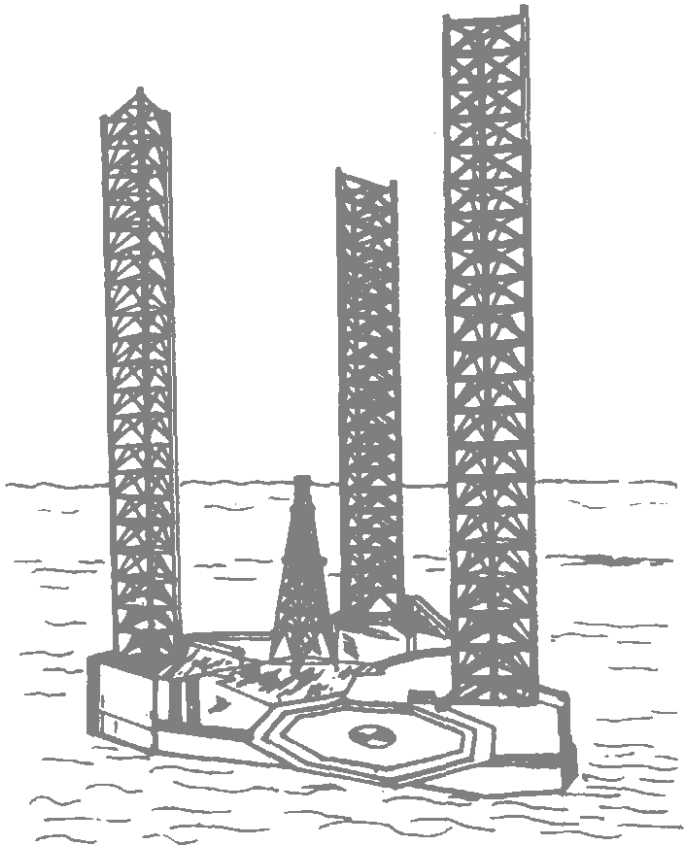


图 32　工程技术协会的欧洲级自升式平台

独立桩腿自升式钻井平台目前可在任何地方工作，但是通常用于硬土区、珊瑚区或不平整的海底。独立桩腿平台支承在每根桩腿底座的桩脚箱上。这些桩脚箱可以是圆的、方的或是多边形的，通常是小的。目前正在使用的最大的桩腿箱约 17 米宽。桩脚箱所受的承载压力为 239.4～287.3 千帕。

沉垫支承自升式钻井平台是为泥土剪切值低的地区设计的，这种地区要求保持低的承载压力。沉垫用大的面积与泥土相接触，承载压力通常只有 23.94～28.73 千帕。

沉垫支承自升式钻井平台的一个优点是吃入海底深度最小，多半在 1.5～1.8 米之间。相比之下，独立桩腿自升式钻井

http://bbs.3s001.com/

平台的桩腿吃入深度约为 12.2 米。所以,在同样的水深中,沉垫支承式比独立桩腿式需要较少的桩腿。沉垫支承式钻井平台的一个缺点是需要相当平的海底，海底的最大斜度限于 1.5°。沉垫支承式钻井平台的另一个问题是不适用于有珊瑚层或大块岩层的地区，因为沉垫支承式的设计是为了均匀承载，不平整的海底可能会引起结构的破坏。

自升式平台可以是自航的、助航的或非自航的。大多数自升式钻井平台都是非自航的。自航式装置虽然很灵活机动，但除钻井队外，还需要一支专门训练的海员队伍。

已建成的自升式钻井平台中有多至 14 根桩腿的,少则 3 根桩腿。随着水深的增加和环境条件变得严峻，发现使用的桩腿超过 4 根时，不仅造价高昂，而且不切实际。作用于自升式钻井平台的主要力量来自波浪和海流。因此，与波浪和海流的接触面积越小，作用在平台上的力就越小。从这一观点出发，最佳的自升式钻井平台是单柱式（图 33)或单桩腿式平台。

不过，单柱式平台还必须克服一些除了波力以外的问题。但是在一些像北海这样波浪汹涌的地区是需要单柱自升式平台的。

在评价该用哪一种自升式平台时，必需考虑以下几点：水深和环境条件；海底的类型和软硬程度；要求的钻井深度；在飓风季节移动的必要性；在后勤供应较差条件下的工作能力；多少时间需要移动一次；移动一次所需的准备时间；平台的工作限度和拖航限度。

目前，自升式钻井平台占全世界钻井船队的大约 50%,半潜式平台和钻井船组成其余的 50%。

http://bbs.3s001.com/

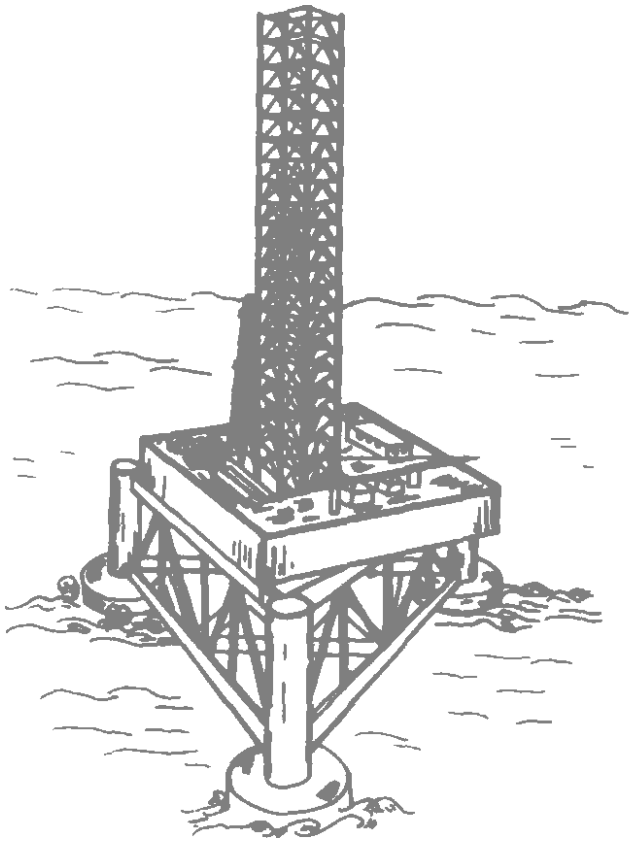


图 33　工程技术协会的移动单柱式装置

3. 半潜式钻井平台

半潜式钻井平台是从坐底平台演化而来的，许多今天的半潜式平台都是设计成既可坐在海底工作也可全浮工作。较早的一种半潜式平台是“蓝水”1 号，它是用一座坐底式钻井平台加上漂浮用的立柱改装而成的。

今天的半潜式钻井平台是为在水深达 304.8 米工作而设计的。因此，要能适应严峻的海况和狂风的袭击。半潜式平台的一般结构包括两个纵向下船体，下船体用作压载舱，以达到必须的钻井吃水(图 34)。这两个下船体在拖航时又作为主要船体。由于它的大小和布局，半潜式平台的拖航阻力低，从而提供了良好的稳定性。

http://bbs.3s001.com/

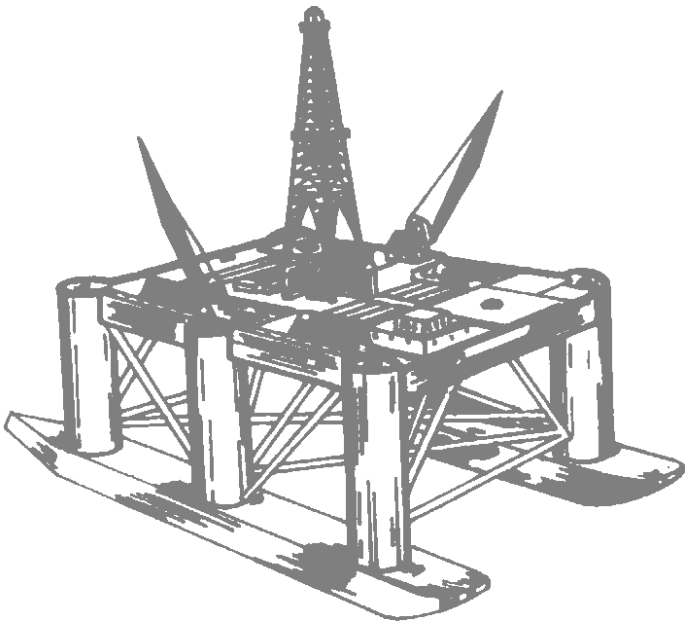


图 34　伯利恒的半潜式平台

半潜式平台还有其他设计，如用于塞德柯系列的三角形设计、用于奥德柯系列的四纵向船体和法国设计的具有 5 个浮筒的五角形钻井平台。五角形钻井平台可能是多船体式中最成功的，具有独特的对称性和均匀的稳定性。这种平台的拖航性能不如双船体装置，但有良好的钻井特性。

半潜式平台可以在很深的水域进行钻井作业，它们靠常规的系泊系统或靠动力定位系统固定于井位。常规的系泊系统通常由辐射状布置的 8 个锚组成,用链条或钢绳(有时甚至二者都用）连接到船体上。动力定位系统是船舶声纳系统的发展，在这种系统中，信号由浮船发给装在海底的传感器。随着水深的增加，更有必要采用动力定位，一般认为水深超过 304.8 米后必须采用动力定位。不过，后来在 457.2 米水深建造了一条使用锚链方法定位的半潜式平台，所需的大量链条要用供应船运载。

由于半潜式平台有相当一部分浸没在水中，所以横摇和纵

http://bbs.3s001.com/

摇的幅度很小。对半潜式平台造成较大影响的运动是升沉（垂直）运动。因为船升沉时影响钻柱受力，所以升沉小的半潜式平台认为是最合用的。

许多新型半潜式平台（如阿克尔 H3 钻井平台)是为世界上的某些特殊地区（例如在条件非常恶劣的北海）设计的。这些半潜式钻井船要求有较大的装载能力，小的升沉量和良好的稳定性。

在半潜式平台的设计和操作中另一个需要考虑的问题是是否需要推进装置。对这个问题有几种意见，每种都有一定的道理。安装推进装置需要一大笔投资，如果对钻井船的移动性有要求的话，在一段适当时间内就可收回这笔投资。有一座巨型半潜式平台以破记录的 21 天横渡大西洋，发表的资料引述了它的平均航速为 9.72 节。这当然意味着大大地减少了移运费用，并相应地增加了生产时间。另一方面，考虑到一旦到达井位，通常在该地区停留的时间很长，这样推进装置不仅不需要，而且还浪费了宝贵的装载能力。

因此，选择半潜式平台时，有必要考虑以下的条件：水深；要求的钻井深度 环境条件 运动特征 装载能力 移动性。

4. 钻井船

要讨论的最后一种移动式钻井装置是钻井船。顾名思义，它只是用于钻井目的的船形装置。较早的钻井船是用驳船、运矿石船、油船或供应船改装的。虽然改装工作至今仍在进行，但是有若干新的钻井船完全是专为钻井而设计的，例如“格罗玛挑战者”号或“滨海发现者”号。钻井船是所有钻井装置中机动性最好的，但它们的钻井性能是最差的。正是为了在结构上使它们具有机动性，才导致了很差的钻井能力。

http://bbs.3s001.com/

钻井船正广泛应用于美国墨西哥湾沿岸，以填补自升式平台和半潜式平台之间的空白。不管怎么说，正是用钻井船在最深的(超过 304.8 米）的水域进行了钻井。如前面所讨论的，使用浮船时，升沉是个主要问题。钻井船因为它的表面与海水接触，所以要比半潜式平台产生更大的升沉。可以用稳定浮筒和其他方法来减小钻井船的横摇，但不能减小升沉。这样就导致了停钻或停工时间的增加。因此，更需要采用升沉补偿装置。

钻井船的系泊同前面讨论的半潜式平台的系泊方法很相似。不过在钻井船上已发展了一种附加系统，即“转台”系统。这种系统已成功地用于滨海公司的“发现者”Ⅱ号和Ⅲ号上，并已安装在滨海公司的‘超级发现者’号(图 35)上。

简言之，钻井船是通用的钻井工具，但只应考虑用于波高小和风速低的地区。

5. 钻井装置事故

值得注意的是，关于移动式海洋钻井装置事故的现有最新资料，仍把自升式平台列为事故最多的一类，半潜式平台次之，钻井船第三。不过，如果将钻井装置的建造总数与各类钻井装置发生的事故次数相比的话，自升式平台和半潜式平台的事故率相差并不太远。

例如，1955～1974 年自升式平台曾有 47 次事故，损失大约 12 200 万美元，而自升式平台的总数为 143 座。至于半潜式平台，它的总数为 72 座，曾有 12 次事故，损失约 5 000 万美元。这些数字表明，每三座自升式钻井平台就有一座平台发生一次事故，而半潜式每五座才有一座发生事故。

http://bbs.3s001.com/

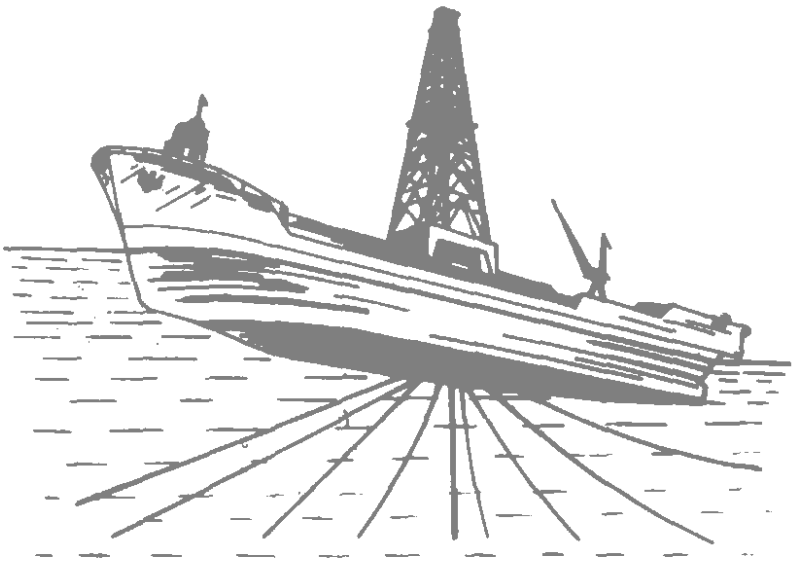


图 35　滨海公司的‘超级发现者’号

如果用事故次数除损失的总金额，自升式平台每座平均损失为 276 万美元，半潜式平台每座平均损失为 566 万美元。总之，自升式钻井平台可能有较高的事故率，它几乎比半潜式平台多一倍，而每座钻井平台的平均损失，自升式平台大约是半潜式平台的 1/2。另外，自升式钻井平台占钻井平台总数的 50% 左右，因发生事故而损失的金额占钻井装置事故损失总金额的 58%，事故次数占钻井装置事故总次数的 60%。这三个数字表明事故次数、事故损失金额和钻井装置总数之间具有密切的关系。

6. 钻井装置的建造

海上移动式钻井装置发展很快，直到现在对所有类型的钻井装置都有很大的需求。自升式平台仍然在全部在用的钻井装置中领先，半潜式平台第二，钻井船则远远落在后面。

1974 年全世界在用的海上钻井装置总计有 317 座。包括

http://bbs.3s001.com/

143 座自升式平台、72 座半潜式平台、25 座坐底式平台和 77 艘钻井船。除了这些数字之外，1974 年已有 42 座自升式平台、75 座半潜式平台和 18 艘钻井船在承包建造。半潜式平台中有 45 座预定用于北海。

1985 年有 408 座海上移动式钻井装置。在这些装置中，有 183 座自升式平台、121 座半潜式平台和 104 艘钻井船。

在恶劣的条件下和深水工作的钻井装置的结构更为复杂，其建造成本也随之增加。越来越多的钻井装置是为了用于 119 米以上的水深而建造的。

(三)海上重油油田开采技术

全世界石油资源量约有 1/5 分布在海上。在这些资源量中有 4/5 集中分布在特大油田，其中海上油田的储量与产量占 22%，且重油占有相当的比例。据统计，不包括极重油在内，全世界重油资源量约为 950×10^8 米^3,可采储量为 70×10^8 米^3。从这些数字看出，海上重油的开采具有乐观的前景。但是由于目前油价暴跌，加之海上石油勘探与开发费用又比陆上高 4～5 倍，致使海上重油勘探与开发的进程缓慢。

目前已探明的重油储量已远远超过了中质石油储量，据不完全统计，重油储量约为中质石油储量的 6 倍,中质石油勘探开发程度已相当高，储量逐年减少，必然由重油补充。因此，近年来国外一些石油公司已着手研究重油的开发，现今世界上屈指可数的几个海上重油油田进行了试采，并取得了一些经验。这些经验无疑对今后海上重油油田的开发具有一定的借鉴价值。

1. 重油的分布及其特点

(1)重油的分布特点　　目前世界各产油国几乎都发现了重油油田，从横向上看，这些重油集中分布在委内瑞拉、前苏联和

http://bbs.3s001.com/

加拿大，这三个地区的重油资源量占世界重油储量的 90% 以上。据 1987 年美国能源部公布的数字,包括极重油在内,重油总资源量估计近 1.6×10^{12} 米^3,目前采出程度仅 5%。从纵向上看,约有 40% 的重油分布在白垩纪地层中；若仅考虑可采储量，侏罗纪地层占优势。这主要由于特大油田集中分布在中东地区,而南、北美洲白垩系聚集的重油尽管也相当可观，但常规开采方法很难采出。从储层上看，绝大部分重油储集在砂岩和碳酸盐岩层内。全世界砂岩储层大约储集了 4.8×10^{11} 米^3 重油，而碳酸盐岩储层储集了 2.5×10^{11} 米^3.

从目前世界上所发现的重油区形成的地质条件下特征来看，大部分重油油藏为次生的；而且重油多聚集在储层物性较好、孔隙底和渗透率都较高、储层固结程度差的陆相或陆源碎屑岩地层中。另外,重油油藏埋深较浅,一般不超过 1 200 米,有些甚至出露地表,形成沥青湖。再有,重油油藏一般与附近普通油藏存在着明显的过渡关系。这类重油的圈闭主要受地层和岩性因素控制,多为运移期间轻质组分逸失、水冲蚀及生物降解作用使石油变重，从而对油藏起封闭作用。

(2)重油的性质特点　所谓重油，通常指密度大于 0.9042 克／厘米^{3}的原油，有时也包括半固态烃。还有人将地下原油粘度超过 30 毫帕·秒的原油也视为重油，其实这并不严谨。

重油最明显的特点是高密度(0.9042～1.0291 克／厘米^3)、高粘度(30 毫帕·秒以上)、高含胶质和沥青质、高含硫、高含重金属、低凝固点、低含蜡、低溶解油气比、低含水及低流动度。重油与普通原油性质具有明显差异性（表 12)。

http://bbs.3s001.com/

表 12　　重油与普通原油物性的比较

原油物性	重　　油		普通原油
	阿萨巴斯卡	冷　　湖	阿尔伯塔
密度（克/厘米^3）	1.0217～1.0143	0.9861～1.0000	0.8498
饱和烃含量(%)	18～23	21	70～90
芳香烃含量(%)	29	19	
沥青质含量(%)	17	16	0.1～2.0
胶　质含量(%)	35	44	9～15
含硫量　(%)	4.7	4.5	0.1～2.0
钒含量　(%)		250	1～5
镍含量　(%)		100	1～5
油藏原油粘度（毫帕·秒）	500	100	1

重油的突出特点是高粘度、高含蜡、高凝固点。

2. 海上重油的开采

鉴于重油的高粘度、低流动度这一特点，一次和二次采油采收率都比较低。密度为 0.9042 克／厘米^3 的典型重油油田，一次采油采收率仅能达到 5%～10%，通常二次采油采收率仅能增至 15%。注水开采重油一般效果较差，水驱油效率较低，注入水易于出现水的指进或突破。尽管如此，由于水易于获得、易回注、在油藏内流动较稳、操作方便、费用低及不易出事故等因素，如果生产条件控制得当，注水开采重油还是经济的。目前美国约有一半的油田采用此法开采。

由上述可见，降低重油的粘度和提高重油的流动度，是提高重油采收率的主要手段。通常对高粘原油加热处理，可以有效地降低原油的粘度；还可以采用溶剂稀释降低地下原油粘度，但这种方法由于降粘效果不理想，所用溶剂费用比加热费用高，因而很少使用。有时在重油中掺入水（有乳化剂或无乳化剂）也有

http://bbs.3s001.com/

一定的益处，尤其适于泵抽油、机械采油和管线输油。

因此，在制定重油开采方案时，事先必须考虑许多相关的因素。譬如热采方案应考虑：采用哪种类型的热源（蒸汽或地下燃烧）、受热范围(井筒、井周还是整个地层)有多大、热源和流体流动的相对方向（顺流、逆流还是垂向流）以及热采经济效益等因素。

近年来，美国、加拿大、委内瑞拉常采用以下几种方法开采海上重油 电潜泵吸油法、喷射泵抽油法、注水开采法、注化学剂法、气举法、杆式泵抽油法及热采法。上述方法中较常用的有如下几种：

(1) 电潜泵吸油法　近年，在开采重油过程中十分重视电潜泵的研究和应用。与其他类型泵相比，电潜泵具有排量大、适于定向井生产等特点，尤其适于海上重油油田的开采。

目前海上重油开采的三种倾向足以说明这种采油方法的生命力。第一，近期新投入开发的几个海上重油油田基本上都采用了电潜泵开采方法，例如南加利福尼亚圣卡塔利娜湾的 Beta 海上重油油田、Huntington 滩海上重油油田、加利福尼亚圣玛丽盆地 San Miguel 海上重油油田、Pt. Pedernals 海上重油油田、Pt. Arguello 海上重油油田及意大利地中海的 Vega 海上重油油田等；第二，过去投产的一些海上重油油田通过几年的开发效果不佳，近期也逐渐改用电潜泵采油，其例也屡见不鲜，如加利福尼亚滨外 Beta 海上重油油田初期采用注氮气开采，但在开采过程中由于低温影响效果不佳而又改用电潜泵采油；第三，有些海上重油油田初期可自喷、自溢，随着开采逐渐停喷、停溢，最后也改用电潜泵采油。

电潜泵吸油法适于密度为 0.9340～1.0000　克／厘米^3 的重

http://bbs.3s001.com/

油,粘度最高不超过 1000 毫帕·秒。目前海上重油油田多采用这种方法。

电潜泵采油不足之处是泵体本身很难调节采油量，而且对原油含砂敏感，泵易损坏，更换泵时常需要一台钻机或修井机。正因为这样，近年已研制出一种可调节采油量的电潜泵。这种可调节泵是在泵体上安装一个变速控制装置，可根据要求调节泵的排量,使电潜泵日趋完善。

(2) 热采重油方法　热采重油方法目前多应用于陆上重油油田开采。近年，有些公司对海上重油油田进行了热采试验并摸索出一些经验。总结出不同热采方法适用于不同密度的原油,其范围如下：

周期性注蒸汽	＞0.9659 克／厘米^3
注蒸汽	0.9042～0.9861 克／厘米^3
注热水	0.9042～0.9340 克／厘米^3
火烧油层（井筒受热）	0.8448～1.0143 克／厘米^3

目前热采主要有两种基本方法：一种是将外部热量注入油藏内部，降低油的粘度进行开采；另一种是在地层内就地产生热量，降低油的粘度进行开采。据 1985 年统计，热采方法产量已达到 14.7×10^4 米^3／日。据 1988 年第四届世界重油会议报道，热采经济上有所收益至少在油价要回升到 25 美元／桶时,目前海上热采难以实现。适于海上重油油田的热采方法有：

①周期性注蒸汽：在热采试验中，周期性注蒸汽是开采重油油田的基本措施之一。据目前统计，该措施增产油量不多，采收率仅能达到 10％～25％ ，但对低产储层这种方法较为适用。一般重油油田从一开始投产便采用这种方法较为有效。

周期性注蒸汽又称蒸汽浸渍或蒸汽吞吐。这种方法常用于

http://bbs.3s001.com/

陆上重油油田，在我国有些油田也在采用。这种方法可将重油粘度降至中质原油的程度，而且还可以改善表面张力、毛细压力、相对渗透率和润湿性。例如，油层在 37℃下，重油粘度为 1 帕·秒,当温度提高到 93℃时,原油粘度降至 50 毫帕·秒,如果温度升至 260℃ 时,原油粘度降至 1 毫帕·秒,显然,温度升高明显地改善了原油在油层中的流动度。一般这种方法采收率可达到 25％。每年的累计采油量相当于常规采出量的 4 倍,既可缩短开发期又可较快地回收投资。

周期性注蒸汽措施增产机理很复杂，它涉及到多种过程的综合作用。这种方法适于厚层、块状储层；油层物性好，孔隙度在 25％～30％，有效渗透率在 0.4～2 微米^2；含油饱和度在 50％～70％,含水低于 50％;油层压力较低的油田。譬如，位于洛杉矶盆地南端的 Huntington 滩海上重油油田便进行了周期性注蒸汽试验。

②注蒸汽和注热水：目前，海上重油油田采用注蒸汽和注热水的较少。这主要由于海上重油油田都为定向斜井，而且地下原油粘度比较高，加之深层薄油层热损失严重，在海上淡水水源困难以及注入后高流度比造成驱油效率差，因而给这种方法带来一定的局限性。但这种方法采收率较高，有时可达到 50％。注蒸汽结束后，再注入冷水还可以提高蒸汽的热效率。在注蒸汽过程中也常遇到一些问题，如热应力造成套管、油管、衬管损坏、热量完全损失。注蒸汽过程中遇到的其他问题包括出砂、乳化作用及井下和地面设备腐蚀等。这些问题都是注入蒸汽严重过载或过早注蒸汽所致。注热水目前应用较少，尤其是海上重油油田。注热水成功率不高，这主要由于注入的热水流动度很高，而地下原油流动度又很低，造成注入水的指进突

http://bbs.3s001.com/

破,致使驱油效率差,采收率低。

(3) 注碱水开采海上重油方法　重油由于本身的高粘特性,其渗流特点与常规原油不同,它不符合达西流定律。在遇到水时,重油相对渗透率急剧降低,原油的流动度更受限制,阻力很大。因此,提出了改变水的粘度,缩小油水粘度差以减少水的指进为目的方法。目前常采用注稠化水、注碱水等改善驱油效率。这种方法适于粘度小于 200 毫帕·秒的原油,该法一般采收率仅能达到 5%。譬如,Huntington 滩海上重油油田下 Main 层便进行了注碱水开采试验。该层适于注碱水开采,一方面可节省大量的注入水,另一方面因采出油中含有较高的天然有机酸易于和碱反应生成一种表面活性剂,有利于原油乳化和降低表面张力。对海上重油油田大规模注碱水还未见报道。

3. 海上重油油田的开发井网

陆上油田井网是一个明确而又严谨的概念,其井的排列、布井形状、注采井别和井间距离相对来说都比较规范化。然而,海上油田井网概念并不严谨,这主要由于海上油田处在特定的环境,由于目前技术条件、设备条件及客观地质条件所限,一般很难在有限的空间通过定向钻井达到预期的井网、井距的准则。因此,近年有些研究人员常避开海上油田井网概念,并提出一些简单而又能够说明问题的几个概念:以单井控制面积代替井网概念 以平台控制面积代替井网概念 以平台钻井数量代替井网概念;以近似井网代替严谨井网等。这些简单的概念正在逐渐被人们接受,并预计今后在开发海上油田的过程中会逐渐扩大。

(1) 海上重油油田布井的基本准则　尽管海上油田开发井网布置还不能达到科学的准则,但在实际开发过程中对井的布置还要综合考虑、权衡利弊作出决断,这就需要遵循一定的准

http://bbs.3s001.com/

则。

开发井网的合理布置对油田开发是很重要的，井距安排得当，对油田稳产高产和提高油田采收率起着决定性的作用。海上油田为尽最大可能、经济地采出地下储集的重油，井网布置不仅要对油田大小、形状、产层厚度、油层物性及地质储量等参数进行研究，而且还要运用经济学的理论和方法进行分析预测、比较，科学地确定井网形状、并间距离、井别及平台数量之间的关系。

从近年世界上一些海上重油油田开发井网统计来看，多半采取在少数平台上尽最大限度钻开发井，使之既能适应油层分布形态，又能达到最大泄油面积。这样，势必在少数平台上尽最大限度地钻定向斜井，使地下水平位移达到最大，以提高采油量。根据文献统计，定向井地下水平位移为侧深的 65% ~ 70%。譬如，Beta 海上油田平台配有 80 个井口槽，其中 30 个弯曲导管，在最大造斜段以 6°/100 英尺(6°/30.48 米)造斜。侧深 3 962 米，垂深 3 048 米时，其地下水平位移 4 000 米。又如波斯湾南部伊朗的 Ardeshir 海上重油油田，一方面采用斜井架钻井加大造斜率，另一方面平台上配有各种不同角度的导管。这样尽量加大定向斜井造斜，提高平台上的泄油面积。平台上井以 3°/100 英尺(3°/30.48 米)造斜率钻井，最大造斜角 60°。侧深达到 853 米，垂深 335 米时，地下水平位移达到 597 米。

近年在美国加尼福尼亚岸外区、地中海海域及波斯湾海域的重油油田基本遵循这一原则布井。通常在一座平台上配置 60～80 个井口槽，而且要求井尽量造斜使定向井伸向油层边缘地带，达到最大泄油面积。不仅节约投资，而且也节约了再建造平台所花的时间。同时，井集中在少数平台上，也便于管理。

http://bbs.3s001.com/

另外，由于海上特定环境、有限作业空间和复杂的地质条件等因素，在重油油田投产后，要为调正开采层系、生产井、注入井，留有充分的余地。例如，Shell 石油公司在 Beta 油田的 Ellen 平台上留有 20 个备用井口槽作为未来调整井。又如 Texaco 石油公司建造的 Harvest 平台具有 50 个井口槽，在初期仅动用 36 个井口槽，其余留待今后调整备用。这种机动灵活的做法对海上重油油田开发方案的设计是很重要的。这种设计不仅可增加产量，而且有备无患，值得借鉴。

(2)海上重油油田的井网确定　　目前海上重油油田布井要考虑：海上工程设施的使用期限；每口生产井的最大允许采油量及对油田储量控制程度；经济效益；留有调整的余地。这些应在制定开发方案时进行周密的研究与预测。例如， Ardeshir 海上重油油田在开发前进行了详细的模拟研究，油藏模拟是根据最初获得的资料进行生产史匹配，并利用这种模型对 8 种不同动态进行了模拟研究，确定最佳井网、井距、采油速度、垂向渗透率变化及底水锥进对采收率的影响，最后确定采用 36 公顷五点法面积井网、600 米井距进行开发（陆上重油油田多采用 4～16 公顷六点法、七点法、九点法及不规则井网），产量控制在 2862 米^3／日。

近年国外开发井网有由大井距稀井网向小井距密井网方向发展的趋势。随着人们对非均质程度的认识，逐渐体会到小井距密井网的优越性及加密井网的必要性。因此，采用密井网有可能是今后油田开发工作中的一次重大变革，对海上油田也就更有必要了。

据统计，目前海上重油油田多选用五点法面积井网，井距一般为 250～500 米(表 13)。表 13 中 Vega 油田、Ardeshir 油田及

表 13　　海上重油油田的井网与井距

油田名称	位置	产层深（米）	产层	产量（米³/日）	井网（公顷）	井距（米）	原油密度（克/厘米³）
Huntngto	加利福尼亚	305	中新统	1542	8	285	0.9725～0.9402
Beta	加利福尼亚	884～1280	中新统	1749～3975	6	250	0.9930～0.9402
Harvest	加利福尼亚	2590	Mentereg	6200	32	560	1.0107～0.9042
Greisum	苏伊士湾		白垩系	2385	6	250	0.9529～0.9100
Vega	意大利	731～793	Siracusa	954	28	500	0.9659～0.9593
Ardeshir	伊朗波斯湾	860	中新统—渐新统	28620	36	600	0.8927
gakin	印度尼西亚	549～1542	中新统	175	6	250	0.9759～0.9371

http://bbs.3s001.com/

http://bbs.3s001.com/

Harvest 油田井网并不密,井距 500 米以上,其原因是 Vega 油田产层为裂缝性发育的碳酸盐岩，孔隙度和渗透率都比较高，因而对重油开发有利。而后者虽属重油但不是很重，一般为中等重油，且又含溶解气，这种重油开采并不困难，因而井距也稍大些。

总的来看，海上重油油田大体上采用五点法面积井网开发，井距的选择则视油田具体情况而异，规律性不是很强。

(3)海上重油油田的采油速度　海上重油油田采油速度的确定与井网确定同样重要。据文献报道，海上重油油田采油速度主要取决于海上工程设施的使用期限、油层物性、储量及不致引起砂堵的最高允许产量。海上工程设施在海上腐蚀环境下一般使用期最长为 20 年。因此，设计油田采期不应超过设施的使用期。如果延长油田的开采期，势必对海上工程设施进行重建、大修，无形中要投入巨额资金。鉴于此，海上重油油田开发必须在短期内尽最大可能采出地下可采储量，尽可能提高采液量，缩短油田开采期。

目前，海上油田设计的采油速度比陆上油田高很多。海上油田采取密井网，旨在短时间内确保动用较多的储量，尽最大限度采出可供开采的储量。这主要靠小井距密井网和密集射孔来实现。

除密集射孔外，还在射开程度上下功夫。射孔密度一般控制在 32～39 孔／米。同时对孔眼清洗也采取了一些措施，如对割缝衬管进行高压清洗，将附着的腐蚀产物、污物、沥青及蜡等清洗干净，以提高产量。

采油速度是多种参数综合指标的反映，由于油藏特点的差异，采油速度也不尽一致。据近期投产的海上重油油田统计来看(表 14),采油速度大体控制在 3%～4% 为宜，均高于陆上重

http://bbs.3s001.com/

表 14　　海上重油油田的采油速度（按可采储量计）

油田名称	原始可采储量（10^6 吨）	原油密度（克/厘米^3）	粘　度（毫帕·秒）	采油速度（%）
Big Hondo	400	0.9725～0.9340		3.0
Pedernals	300～500	1.0107～0.9340		6.6～11
Huntington	1000	0.9725～0.9402	20～400	3.2
Beta	150	0.9930～0.9402		2.4
San Miguel	300	0.9861		4.4
Viraj		0.9433～0.9309	50.81	4
Sobbasan		0.9465～0.9309	4.5～18.3/80	1
Badarpur		0.9740	29/20	6
Duri	7109	0.9402～0.9279	100～120	
Kulin	297	0.9360	22.8	
Yakin	20	0.9759～0.9370	155～590	2
Dama	6	0.9561	184	1
Kittg	90	0.9530	76	1
Moi	6	0.9430	17	
Selatan	104	0.9340	3	5
Vega	300	0.9659～0.9593	4200/38	7

油油田。

总的来说，重油油田即使实现最佳开发效果也只能达到边际油田的经济效益，因此，对海上重油油田开发工慎重从事。

五、海底热液矿床

30 多年前，当板块构造学说获得广泛采纳时，它给人们带来了好消息以及当时看来似乎是坏的消息。所谓好消息是指这

http://bbs.3s001.com/

种理论解释了地球变动的方式：当新的大洋地壳由于海底扩张而生长,而老的大洋地壳再同化到地球内部而破坏时,各个大陆就在不停地运动，而大洋盆地则张开和闭合。似乎坏的消息是：新生长的大洋地壳年代新,成分均一,这似乎排除了重要金属矿床在大洋盆地中形成的可能性。然而，最近在大洋盆地内地现了与矿床有关的富含金属的热泉，改变了这种情况。这一发现导致在海底可以进行商业性采矿。它还阐明了陆地上一些大型矿床的成因。

老的静止地球模型把大洋盆地想象为大陆上风化物质的被动贮集场地。这种物质主要是被河流搬运到大洋中来的。这种模型说明了当时查明的海底上仅有的一些矿床，包括由陆地上出露的岩石受机械剥蚀来的金、锡、钛、金刚石和其他重物质组成的矿床,被流动的水富集在海底的矿囊中,而且还有呈结核和皮壳形式产出的、由溶解在海水中的物质化学沉淀形成的磷块岩和锰结核。

当板块构造的动态地球模型提出之后，人们就清楚认识到，大洋盆地本身是热和金属的来源。金属是由于大洋水与大洋地壳的交换作用产生的，大洋地壳能够富集金属矿床。

如果大洋地壳没有破裂，这种矿床就不会形成。大洋地壳之所以破裂，是因为当它由原先熔融状态冷却成固态时出现收缩。当地壳在扩张中心处形成而且流体压力不断增强这一效应时,地壳发生运动,因而海水可以渗透 6 千米厚的大洋地壳到达下伏的地幔。在地壳内或地壳下热源存在的地方，通过渗透性地壳的海水产生对流循环(在对流过程中,热被一种可能为空气和水的流体所输送）。海底对流系统使致密的冷水向下渗入伴生有热源的渗透性大洋地壳中。这时，水受加热并向上涌出。

http://bbs.3s001.com/

涉及热水溶液（热液）对流循环的这种系统，既促进大洋水和大洋地壳之间的有效热交换，也促进它们之间的化学交换。

热的主要来源是含有岩浆（熔融岩石）的岩浆囊。热还来自于海水和地幔岩石的某些组分之间的化学反应。另一种热源是地热梯度：地球内部的温度随深度而增高，这主要是由于地壳和地幔中元素的放射性衰变产生的热散失造成的。

在大洋盆地中，海水和破裂的大洋地壳是到处存在的。但是，能够驱动海水通过地壳对流的热源是局部性的，它主要存在于熔融岩石从地幔分离出去并上升到地壳中形成岩浆囊的地方。这些岩浆囊沿着分割地球岩石圈（即刚性外壳层）呈 10 个大板块和大量小板块的边界分布。岩浆囊还出现在远离板块边界的板块内部火山之下。一个实例是太平洋板块内的夏威夷群岛。

大洋地壳同板块边界处对流循环的海水之间的热交换和化学交换，其规模之大是令人吃惊的。形成大洋地壳而释放到海底扩张中心（板块离散的边界）的热量计算值与通过海底物质的热流实测平均值之间的差值，是由于海水对流循环所引起的冷却作用造成的。计算表明，大洋的全部水体是通过大洋中嵴区的地壳每 1 000 万年循环一次的。从一个年度上，水体流动的速率可与亚马逊河的流速相比。

图 36 中，由海底热泉形成的矿床用圆点标出。形成这种矿床所需的条件是：有成矿流体的海水，有渗透介质和金属来源的破裂火山岩或沉积物，以及有热源的岩浆囊。有利的成矿床条件出现在构成岩石圈（地球的刚性外壳层）的各板块边界处和板块内部的火山区，后者如夏威夷群岛。

http://bbs.3s001.com/

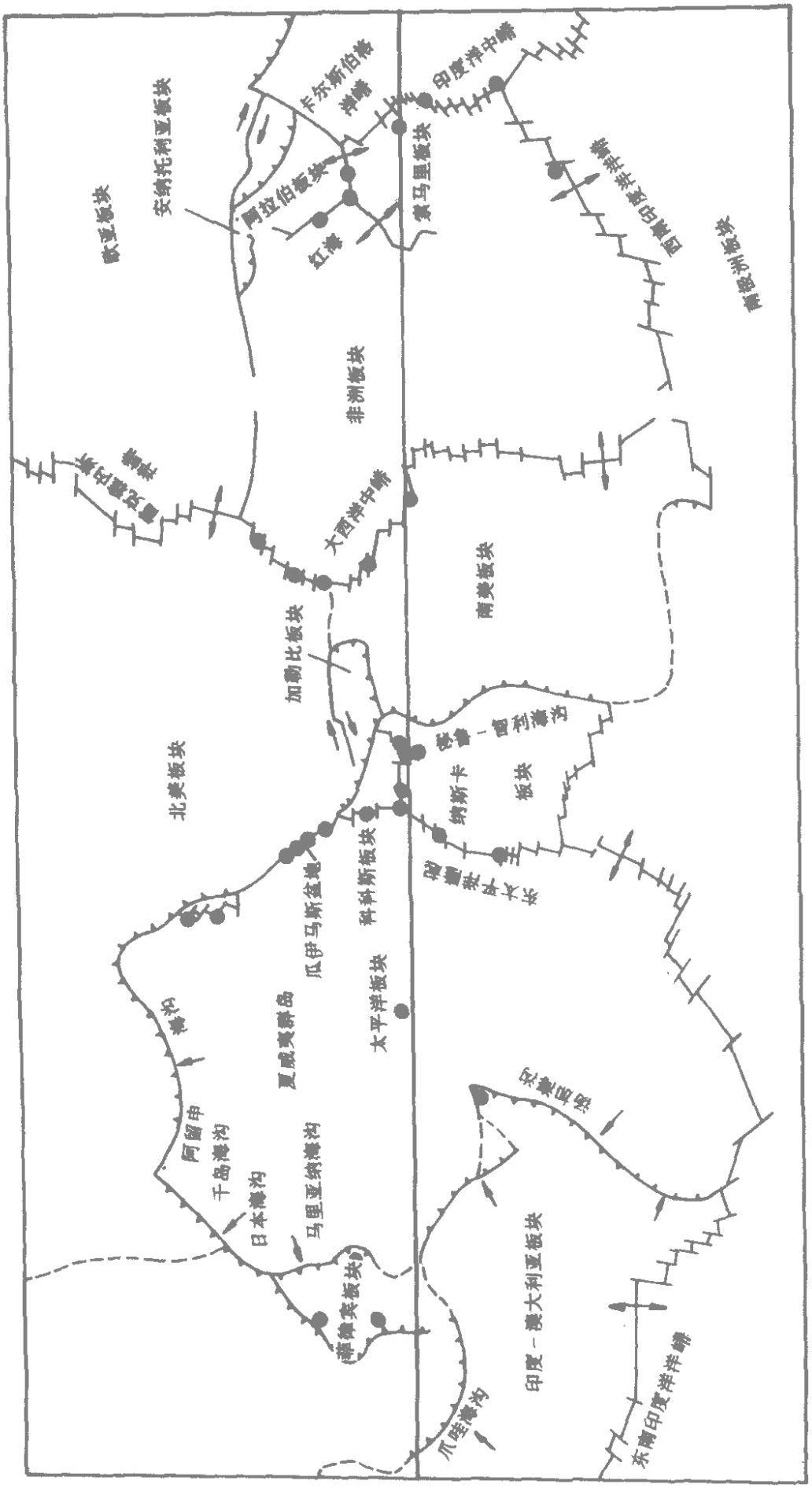


图 36　全球主要的海底热液矿床

http://bbs.3s001.com/

当海水通过大洋地壳在高温下对流循环时，出现两种方式的化学交换。某些元素和化合物(主要是镁和硫酸盐)从海水中析出并转移到地壳上 其他一些元素,特别是某些碱金属(如锂和钾)、碱土元素(如钙和钡)以及过渡元素(如铜、铁、锰和锌等),都是从地壳中溶解出来并转移到循环的海水中,从而使水变成含金属的溶液。这种交换的规模有些可与河流从大陆携带到海洋的风化产物中的同种元素和化合物的输入量相当。

循环的流体并不非常多，如果使矿床富集的热水得以产生，就需要异常的物理条件和化学条件。物理条件包括：很高的热梯度，才能有力地驱动对流循环的流体上涌部分；热交换带内的低渗透率同离散带的高渗透率相结合，前者可使溶液的温度保持在几百摄氏度,后者可使通过非渗透性顶板岩石(即上覆岩层)的向上水流沟通,并使排水集中 可造成渗透带适当分布的地壳运动，使激励热水循环的岩浆囊不断得到补充的岩浆贯入；连续的火山活动或沉积作用,能使海底矿床埋藏下来,从而使它不受氧化和分解。

促进金属从地壳中溶解和迁移、沉淀和富集的化学环境可以描述如下：海水是致密的碱性冷水，具氧化性，含金属较贫，它能通过渗透性地壳向下渗入，在岩浆囊附近流动时吸收热量，并在岩浆上涌部分向上升起。当热膨胀的海水通过地壳向上运动时,它同围岩发生两种方式的化学反应 从水中转移出来的镁与氢氧化物和二氧化硅结合成地壳中的一些矿物相，这个反应过程伴有氢离子的释放，使溶液的酸度升高；海水的硫酸根(SO_4^{2-})由于同火山岩中的二价铁离子反应,还原成硫,并形成硫化氢(H_2S)。酸性溶液侵蚀性地溶解大洋地壳中呈极低浓度(十亿分之几)存在的金属。

http://bbs.3s001.com/

金属的另外来源是来自岩浆的流体中的的挥发性元素（锑、砷、汞和硒)。这些金属主要与来自原先海水中的氯呈络合物迁移，它们在热水溶液中的浓度 $10^{-6}\sim10^{-4}$ 。冷却 350（千米）^{3} 的岩浆可使 1 000 千米)^3 的循环海水(等于长江的年流量)加热到 300℃ 。以 10^{-6}的金属浓度计算，这么多的海水可沉淀出 100 万吨的金属。

各种各样的化学和物理作用使金属从溶液中沉淀下来，并使它们富集成矿床。这些矿床沿地壳内的上涌带产出，也产于溶液作为富金属热泉排出的海底之上。两种主要的沉淀机制是混合作用和沸腾作用。

热水溶液 与正常海水的混合作用，上覆海水的围压能阻止沸腾时出现，通常在水深大于 2 000 米和水温为 350℃时就是这样。结果，溶液骤冷，温度降低，其成分由酸性变为碱性。金属矿物迅速沉淀。在还原条件下（没有游离氧），金属与海水中的硫和地壳中分解出的硫结合，沉淀出多金属硫化物。在氧化条件下,金属与氧、氢氧化物、二氧化硅、硫酸根或碳酸根结合,沉淀出金属氧化物、金属氢氧化物、金属硅酸盐、金属硫酸盐或金属碳酸盐。

当上覆海水的围压下降到临界点时，就发生沸腾。对于 350℃的热水流体来说，这种临界点通常出现在海水深度小于 2 000米处。含有氯化钠的液相，可与保持硫化氢的蒸气相分离开来。沸腾作用可以引起多金属硫化物矿床在海底下沉淀下来，或者引起密度大于海水的高盐度卤水的沉淀。

图 37 中用两个对称的热水对流循环系统的横剖面，说明海底扩张中心的成矿作用。海水向下渗入含各种金属的破裂地壳达几千米的深度。下伏岩浆囊上来的热，引起水的膨胀和对流

http://bbs.3s001.com/

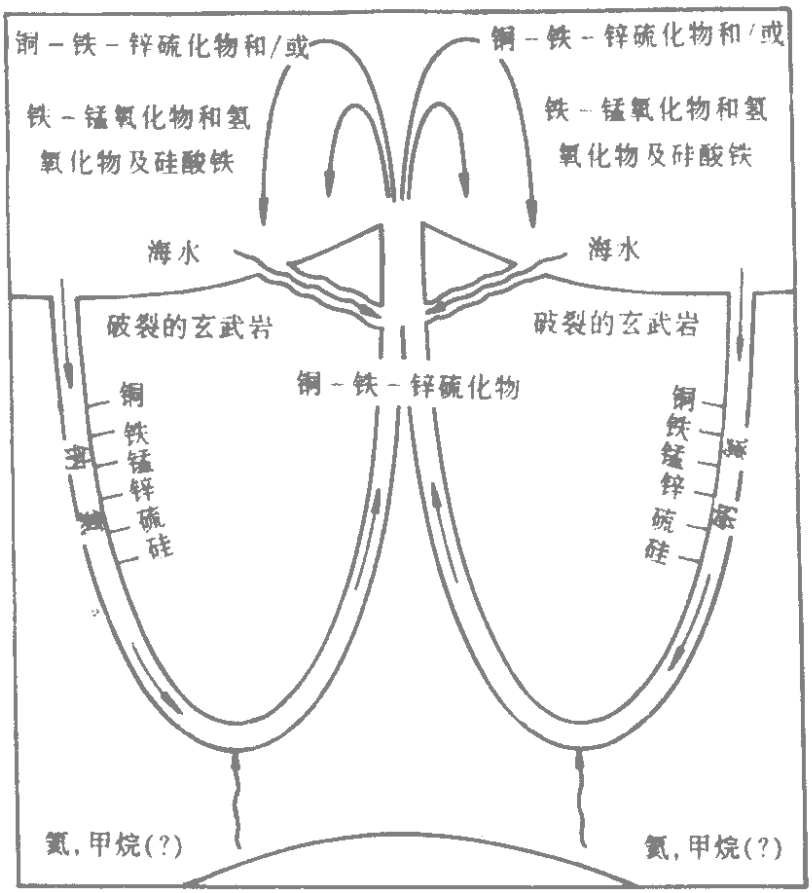


图 37　海底扩张形成热液矿床示意图

上升。热的海水溶解了许多来自岩石的元素（包括金属在内）并丢失了一些元素。补充的金属还可以来自岩浆囊和下伏的地幔。有氦，可能还有甲烷气体。在‘渗滤的’系统中，新鲜海水向下渗入，并与上涌的富含金属的热水溶液混合，促使金属的在地壳内呈硫化物形成沉淀；而留在溶液中的金属则从热泉水中沉积在海底上。在‘封闭的’系统中，溶液直接排入热泉水中，而泉水则将硫化物沉积在海底上（表 15）。

成矿热水对流系统的异常物理—化学条件，出现在既有共同特征又有差异的海底扩张中心内。所有扩张中心都具有沿轴部的分段构造，它们由许多约 10 千米长的断裂带横向断错交替

http://bbs.3s001.com/

表 15　循环的海水和地壳玄武岩之间的组分交换

组　分	玄武岩	海　水	洋嵴/河流
铜(Cu)	−	+	
铁(Fe)	−	+	
锰(Mn)	−	+	1
锌(Zn)	−	+	
钾(K)	−	+	2/3
锂(Li)	−	+	10
铷(Rb)	−	+	
钡(Ba)	−	+	2/3
钙(Ca)	−	+	1
二氧化硅(SiO_2)	−	+	2/3
镁(Mg)	+	−	1
硫酸根(SO_4^{2-})	+	−	1
钠(Na)	+	−	不定
氯(Cl)	?	?	不定

温度假定为 200～400℃。负号表示玄武岩或海水是元素的来源，正号表示元素的沉淀。右栏表示洋嵴处热泉排入大洋水中的物质量与河流从陆地上带入的物质量之比。例如，对于锂来说，洋嵴的带入量为河流带入量的 10 倍。

组成。所有扩张中心具有 1 千米到几百千米长的断裂带，横向断裂交替组成。所有扩张中心具有 1 千米宽的轴向火山活动带,两侧为边缘带,其中由轴向带扩张生成的大洋地壳,因地壳运动而破裂成一些断块。

扩张中心呈现出同海底扩张速率有关的系统差异。扩张轴两侧的扩张速率,像大西洋中的那样,属于慢的类型(每年 2 厘米或更小),像太平洋中的那样是中等和快的。当扩张速率增大时,轴向带与边缘带之间的高程差减小(从几千米到几百米),下伏的岩浆囊变宽(达 20 千米,而不是 1 千米)也变浅(由 6 千米

http://bbs.3s001.com/

变为 1 千米）。扩张中心之间的共同特征和系统差异，影响着成矿热水体系的性质。

许多国家在海洋考察船上所进行的探测工作，正在提出一幅清晰的不同海底扩张背景下的海底成矿图像。成矿作用显示出许多取决于背景的共同特征和差异。红海的一些地点呈现出一种背景的成矿作用：大洋盆地张开的早期阶段，伴随有切开红海的慢扩张中心。那里的富含金属的热卤水沿轴向带充填着许多盆地，这种卤水是由于在盆地中运行的成矿热水对流系统产生的。密度大的冷海水通过边缘带火山岩向下渗入，成为非常高盐度的，因为它从地壳中埋藏的巨厚岩盐层（氯化钠）流过。这种岩盐层是大洋盆地早期张开阶段的特征。此时，在干燥气候条件下，蒸发超过海水补充，因为外来大洋水的流入受到周围陆体的限制。

当盐度增高时，盐晶体沉淀和下沉，并在海底上堆积成厚层。循环溶液的高盐度，增强了运移可溶金属的能力，这些金属与来自盐中的氯离子形成络合物。它也增加了溶液的密度，使得受热的溶液在从盆地底部排出时作为密度分层的卤水集聚。金属作为颗粒矿物相从热卤水中沉淀出，沉积在盆地中，受到圈闭,形成厚达 100 米的层状含金属沉积物。

金属形成络合物的能力和卤水的密度分层、红海热水对流系统，对运移金属和圈闭金属有重要作用。在麦加正西水深 2 000 米的红海轴向带内,直径 7 千米的阿特兰蒂斯 Ⅱ 号深渊的层状多金属硫化物矿体，是在海底扩张中心处已知最大的金属矿床。据估计，这个矿床含无盐的干金属总重量为 1 亿吨,包括 29% 的铁、2% ～5% 的锌、0.3% ～0.5% 的铜、60×10^{-6} 的银(按每吨 1.8 盎司计,为 6 000 吨)和 5×10^{-7} 的金(按每吨 0.15

http://bbs.3s001.com/

盎司计,为 50 吨)。

这个矿床同陆地上较大的古老硫化物矿床相并列。代表沿岸相邻几个国家的沙特一苏丹红海委员会,于 1979 年在那里进行了开采可行性试验。这个委员会计划在世界金属市场改善时进行全面的试验性开采工作。

当大洋盆地从以红海为代表的早期张开阶段，向着以大西洋为代表的前进张开阶段以缓慢的扩张速率变宽时，发生了几种变化 大洋水循环从有限变到无限 氧出现得更多,以致环境从还原变为氧化,同时由于岩盐层被扩张的海底移离轴向带,热水溶液的盐度普遍降低到正常海水的盐度。此时，任何出露在海底上的硫化物矿床,都会被氧化作用所分解,除非它们被非渗透性沉积盖层或熔岩所保护下来。像阿特兰蒂斯Ⅱ号深渊那样的矿床，可能就产在大西洋边缘一些场地的这种盖层之下。的确，一条矿带可能会从像阿特兰蒂斯Ⅱ号深渊处那样的持久热水系统沿海底扩张流线聚集在大洋地壳内。

图 38 中红海海底的成矿作用,代表着发生成矿作用的一种背景：同缓慢海底扩张中心有关的大洋盆地的早期张开阶段。红海盆地的地壳含有较早期条件下形成的厚岩盐层。经过此种地壳向下渗透的海水变成异常咸的，盐既增强溶液运移金属的能力，也增加溶液的密度。这些金属与来自盐中的氯离子形成络合物,结果形成密度分层的富含金属的热卤水,在轴向盆地中形成池塘。图中所示的化学反应是 在热卤水下层的还原(无游离氧)条件下,金属呈铜一铁一铅一锌硫化物微粒沉淀,而在上层卤水同海水混合的氧化条件下呈硫酸盐微粒沉淀。微粒沉淀在海底上，形成含金属沉积物的层状矿床。

http://bbs.3s001.com/

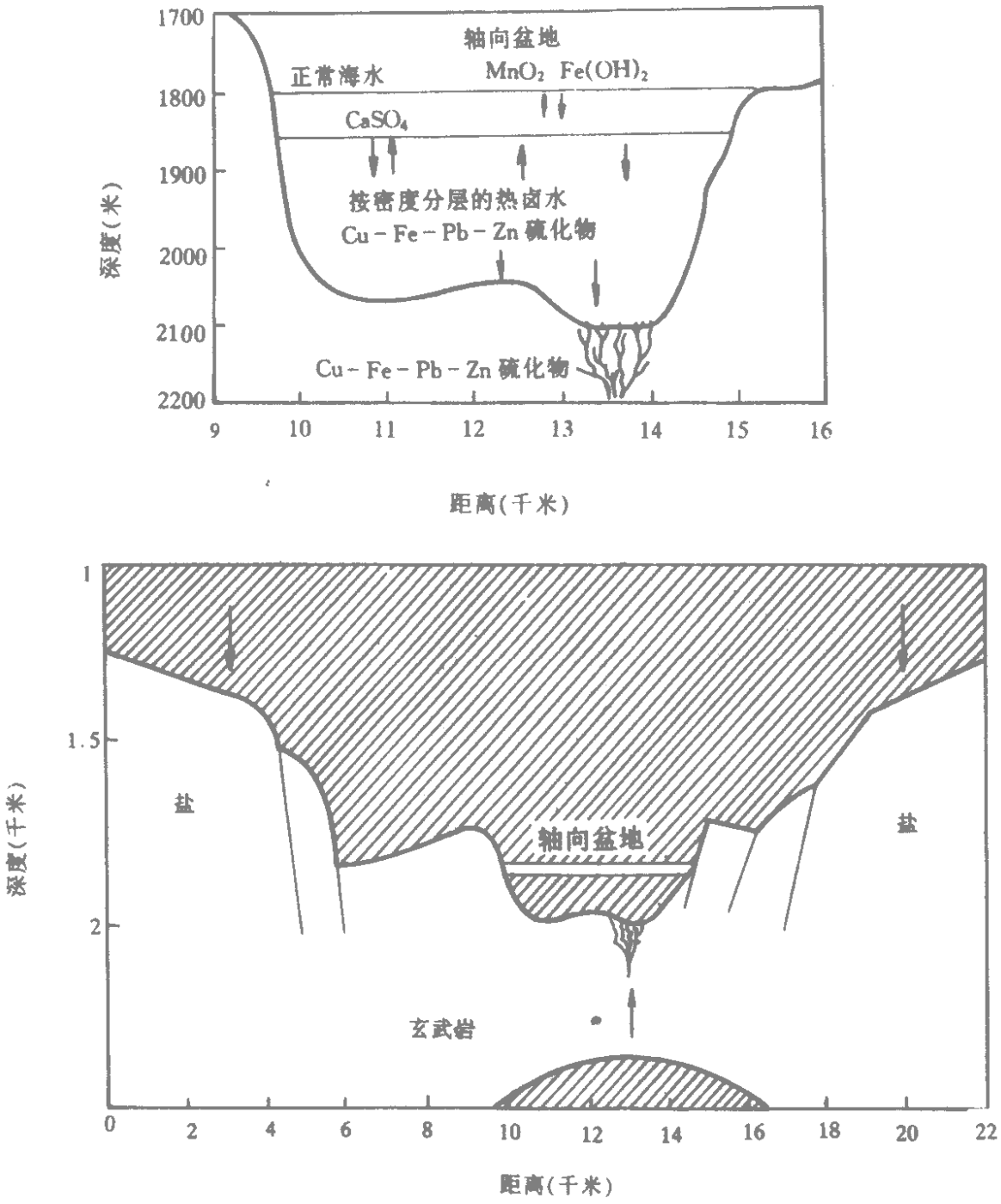


图 38　红海海底的热液成矿作用

英国海洋和大气局的‘发现者’号考察船,于 1972 年取得了这类矿床存在的证据。这艘船当时正在作横向剖面测量，以描

http://bbs.3s001.com/

绘沿迈阿密纬度在跨越大西洋中嵴的地壳特征。在大西洋中嵴轴向裂谷的东壁，考察船出乎意料地挖掘到一块易碎的黑色层状岩石标本。它是极纯的快速堆积成的氧化锰（50％的锰），这表明它是由富含金属的低温（低于200℃）热泉水沉淀生成的。这个地点被命名为TAG热水区（Trans-Atlantic Geotraverse，为纪念跨大西洋综合地质调查计划而定名的）。对它仍在进行调查，一部分是通过‘奥文’号潜艇的潜水进行的。

由TAG热水区排出的低温热泉水生成的层状氧化锰矿床产在大洋地壳火山岩的顶部之上。一些横断大西洋中嵴各区段的大断裂带的两壁，提供了较深入地查明大洋地壳的部分窗口。从大西洋赤道区断裂带的两壁上挖掘到的火山岩，其中含有铜一铁硫化物的网状脉。据认为，这种矿脉与作为陆地上称为块状硫化物矿体的许多古老矿体基础的一种硫化物类型是相似的。

海底下的这种矿床与海底上的层状氧化锰矿床的结合，可能是由‘渗滤的’热液对流体系生成的。在这种体系中，正常的海水向下渗入，并与上涌的热水溶液混合，或者在地壳中的还原条件下沉淀出铜一铁硫化物，或者在处于氧化条件下的海底排出残余溶液的地方沉淀出层状氧化锰矿床。

加利福尼亚湾轴向带内的一些场地(如瓜伊马斯盆地)代表着同中速至快速扩张中心有关的大洋盆地早期张开阶段的背景上的成矿作用。这个盆地含有周围河流提供的几百米厚的沉积物。这些沉积物同由表层水下沉的生物的细小碳酸钙和二氧化硅甲壳相混合。推测有一个成矿热水对流系统，就是海水经过沉积物向下，与盆地下的热火山岩相互作用形成能从岩石和沉积物中溶解出金属的热水溶液。当溶液向上升起时，由于同富

http://bbs.3s001.com/

含碳酸盐的沉积物发生反应,它就成为碱性的,并沉淀出金属硫化物(铜、铁、铅和锌)矿床,保存在海底内。溶液在海底上以各种矿物相的形式沉淀出其余的金属,形成高达 20 米的山丘顶上的塔形建造。在热水溶液流经富含有机物的沉积物的地方，有机物裂解成气体和油类,浸透着沉积物,并由海底呈一串串气泡和小液滴上升。

一个代表大洋盆地张开前进阶段矿化的场地，位于加利福尼亚湾以南的北纬 21°的东太平洋隆起上。1978 年,一支法国一美国一墨西哥考察队乘坐法国‘赛亚纳’号潜艇,进行了穿越这个场地的地质剖面调查，在水深 2 600 米的轴向带边缘处观察到高达 10 米的奇妙山丘，并进行了取样。几个月后，法国海洋勘探研究所(IFREMER) 布列斯特实验室的几位工作者进行了测定 样品物质是由铜一铁一锌硫化物组成的,它构成了奇妙的山丘，这是海底上首次发现的块状硫化物矿体。而块状硫化物矿体从经济上说是陆地上开采的最重要的古老矿床类型之一。

图 39 是太平洋剖面的示意图，表示出海底热泉的背景。这种背景是扩张中心(东太平洋隆起)、汇聚板块边界处俯冲带上的火山岛弧和岛弧与邻近陆地之间的陆缘海，后一种情况在亚洲东部存在。

1979 年,一支美国一法国一墨西哥考察队乘‘奥文’号潜艇在同一场地进行了潜水调查。他们在残余的块状硫化物山丘附近惊奇地发现：汹涌的黑色流体云从烟囱状的喷口翻腾上升。他们把这种特征叫做黑色烟筒,因为它如同工厂的大烟囱,喷出的流体是高温(350℃)、鲜明、富含金属的酸性还原热水溶液。当它与周围海水混合时,引起铜一铁一锌硫化物的沉淀,呈黑色

http://bbs.3s001.com/

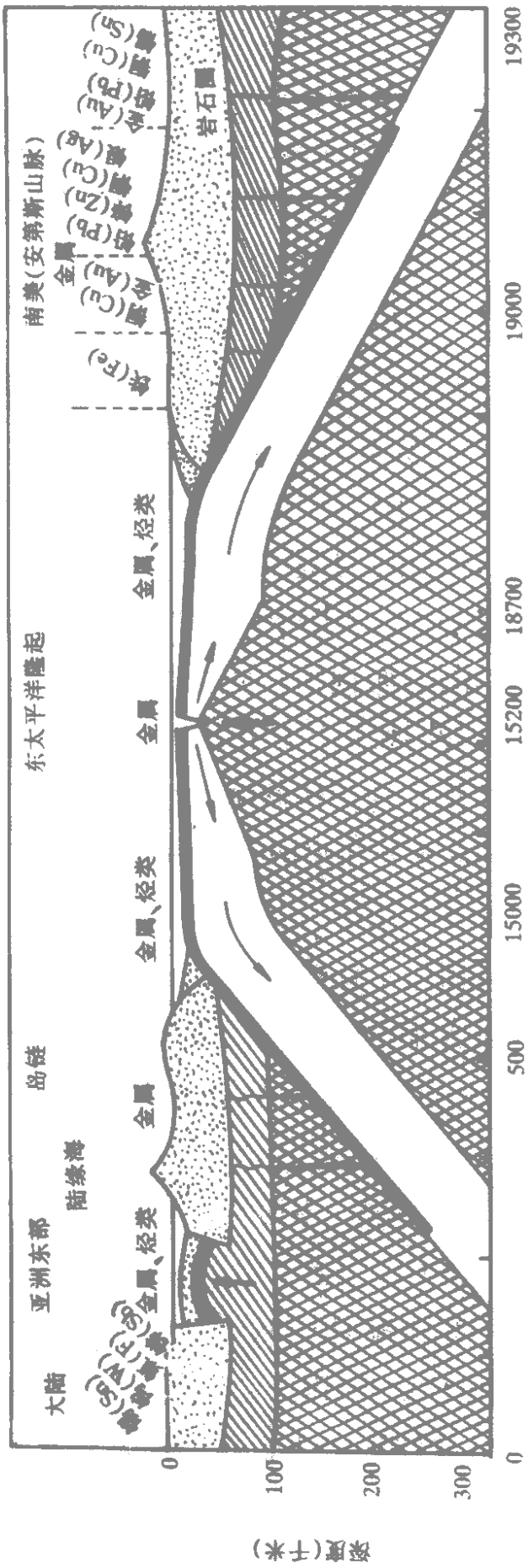


图 39　太平洋剖面热泉背景示意图

http://bbs.3s001.com/

细小颗粒悬浮在不断上升的黑色液柱内。

单个黑色烟筒只保持几年。它们的短期性是根据烟筒物质的放射性年龄测定、对流循环溶液的存在时间、有关生物的年龄和由计算的海底扩张使热散失超过热给的速率等得出的。这种烟囱状的喷口在高达 10 米的山丘上可达几米到 10 米的高度，而山丘主要由烟筒崩解的碎屑物所组成。在一条切过烟筒的水平断面上，在半径为几厘米的范围内可以出现好几种矿物。最热溶液中沉淀的铜一铁硫化物堆砌成喷口；向外就可以看到铁一锌硫化物，它同从与海水混合的低温溶液中沉淀出的硫酸钙形成连生体。这种烟筒状的金属矿体的品位，可与陆地上许多古老硫化物矿床相比。在太平洋的这个场地上的一个典型山丘，含有 31% 的锌、14% 的铁、1% 的铜、每吨约 5 盎司的银和痕量的金。

产生黑色烟筒的热水对流体系基本上是“封闭的”。海水渗入离岩浆囊 1～2 千米的地壳中，受加热的水向上涌出，由于同火山岩进行化学交换而演化成热水溶液，并且在没有显著的优先混合作用下就直接从海底排出。在像东太平洋隆起这样的洋嵴上，在大洋水无限循环的条件下，这种对流作为成矿体系是低效率的，因为由黑色烟筒排出的几乎全部金属，完全呈烟雾上升，并且被洋流扩散开来。只有小矿床呈现为一有烟筒的小山丘形态被保存下来。

1982 年在东太平洋隆起扩张轴外侧的水中，调查了两座具有从上到下 2 000 米顶峰的火山岩海山。乘坐“奥文”号潜艇下潜到海山顶上的老火山口（由于下伏岩浆中的岩浆排空引起塌陷，形成了直径几千米的圆形洼地），在这些老火山口中发现各种热液沉积物。研究者们惊奇地看到，耀眼的热水流体从烟筒

http://bbs.3s001.com/

中喷出，而且实际上向山下流动。这意味着涌出的热流体的密度比周围冷海水的大些。据推测，这种热水溶液发生过沸腾。结果，蒸汽从形成破火山口内的池塘的致密液体中分离出去了。

对海底成矿作用的这种新出现的认识有什么实用呢？海底采矿可能仍是未来的事，但在海底扩张中心发现富含金属的热泉，可以用来阐明现今陆地上许多古老热液矿床的形成作用过程。自 19 世纪以来,一些经济地质学家推测,海底火山‘喷气作用’包括局部的流体排出作用,必定对某些矿床的形成有重要影响。新近的发现证实了这种看法。此外，大洋热泉提供了一个可以直接观察到成矿作用的天然实验场。

对这种应用的狭义解释,是要使观察扩大到蛇绿岩(在以前的海底扩张中心处生成的、后来上升到陆地上的大洋地壳和上地幔的片段）上。蛇绿岩中的热液矿床现在被认为是真正类似于上面所述的在海底背景上形成的矿床。一个典型的实例是特鲁多斯地块的矿床，即出露在塞浦路斯岛上的 2 000(千米)^2 面积的古大洋地壳上的矿床。铜 (cuprum)这一词就是来自塞浦路斯岛的旧名称 Kypros。它反映着特鲁多斯矿床作为这种金属从古代到现代的来源的重要性。大约有 90 个块状铜一铁一锌硫化物矿床呈托盘状矿体产出,各矿体的大小(直径)可达几百米,重量可达 1 500 万吨。它们充填在距今 8 500 万年前海底喷出的火山熔岩中的一些凹陷内。

特鲁多斯地块是一个蛇绿岩带的一部分。含有同类矿体的这个带延伸到土耳其东南部、伊朗南部和阿曼。其他含有热液成矿的不同年龄的蛇绿岩带有穿过中国西藏沿喜马拉雅山脉北缘分布的蛇绿岩带等。

http://bbs.3s001.com/

地球上重要的能源库
——海洋新能源

海水贮存着丰富的海洋能资源。据估计可供开发利用的海洋能达 1500 亿千瓦。海洋能源通常指海洋中蕴藏着的可再生能量,包括海洋潮汐能、波浪能、海潮流能、海洋热能以及海洋盐度差能等。海洋能源能量巨大,可以再生,开发利用没有环境污染,也不占用宝贵的陆地空间,还可以搞各种综合利用。这些优点正是现有常规能源的弱点，所以作为一种有发展潜力的新能源，已经引起许多海洋国家的重视，积极进行开发研究。目前，潮汐发电技术已经实用 小型海洋热能转换装置已试验成功 小型波浪发电装置已经商品化，正在研究开发更大的波浪发电装置。

一、海洋能资源概况

我国海疆辽阔，蕴藏着相当丰富的海洋能资源。据初步估算，我国海洋能资源理论蕴藏量约为 6.3 亿千瓦。其中,大陆沿岸的潮汐能资源蕴藏量为 1.9 亿千瓦，可开发利用的装机容量为 2157 万千瓦,年发电量约为 618 亿千瓦时(表 16),居世界第

http://bbs.3s001.com/

四位。其他海洋能源，估计大陆沿岸波能资源约有 1.5 亿千瓦，可能利用的为 3 000 万 ～3 500 万千瓦；海洋热能可利用资源约 1.5 亿千瓦；入海河口区域的海水盐度差能资源约 1.1 亿千瓦。另外还有潮流、海流能资源，估计潮流能源约有 0.1 亿千瓦。流经东海的黑潮部分海流能源约有 0.2 亿千瓦。

我国海洋能资源分布的最显著特点是同主要耗能区接近。我国工业、商业、贸易主要分布在沿海城镇，经济中心在沿海，是能源主要消耗区，也是目前能源供应最紧张的地区。例如，现在华东地区年缺电大约 30％，广东地区年缺电 40％。这些地区本身缺油少煤，水电资源也有限。目前，华东地区每年要从外地供煤 1 000 多万吨，如果按这种能源结构维持下去，估计到 2000 年，外地供煤量至少要增加 1 倍，即每年要输入煤 2 000 万吨，显然不仅供煤将越来越紧张，铁路运输压力也会越来越大。但是，我国沿海海洋能却很丰富，如果能加以开发利用，有“就地取材”之利。例如，我国潮汐能资源 92％以上集中在能源消耗最大、最缺能源的沿岸——华东地区，其中 99.3％集中在福建、浙江和上海一带，可装机容量达 1 900 万千瓦，大大超过华东地区 80 年代初的发电装机容量（1981 年为 1 037 万千瓦）。特别应该指出，在这个地区有三个被认为最有可能大规模开发潮汐电站的地点，即长江北口、钱塘江和乐清湾。这三个地点测算装机容量可达 600 万千瓦，占该地区潮汐能源总量的 31.1％。其中，长江北口的潮汐能开发，装机容量可达 70 万千瓦，年发电量 22.08 亿千瓦时，可与新安江水电站的发电能力相媲美；而钱塘江潮汐能开发，装机容量约为 396 万千瓦，年发电量达 100 亿千瓦时以上，超过葛洲坝水电站的能力。如果加以合理开发利用，不仅可以大大缓解华东地区的电力紧张，而且将有力促进沪、

http://bbs.3s001.com/

杭、宁经济三角区的繁荣。此外，我国沿海还有一些潮差较大(3～4米)的地带,根据勘测计算,其潮汐能资源开发条件也较优越,浙江省有880.16万千瓦,山东省有11.78万千瓦,广东省有64.88万千瓦,广西壮族自治区有38.73万千瓦,都有开发利用潜力(表16)。

海洋能源在解决我国沿海岛屿用电方面有重要的现实意义。在我国470多万（千米)^{2}的海洋上,有大小岛屿6 000多个,其中有500多个岛屿住有居民,人口近1 000万(未包括我国台湾省所属岛屿），现在普遍缺乏能源。由于能源短缺，严重影响岛屿渔、副、工、农业的发展,影响人民生活和国防建设。有的岛屿用高价柴油发电，电费达几元／千瓦时以上。我驻岛边防部队用电问题也急需解决。

沿海岛屿虽然常规能源贫乏，但海洋能资源丰富，若能因地制宜开发部分海洋能源，对岛屿建设也会产生强烈影响。例如，浙江省玉环县的茅诞岛，是有着3 000多人口的革命老区,过去因地少人多,劳力过剩,生产落后,生活贫困。自从1975年建起装机容量150千瓦小型潮汐电站以后，岛屿面貌大大改观，生活照明、用水和农业电灌得以解决，水稻增产50%,兴办了16个农、渔、副业工厂,1981年产值达131万元，人均收入200余元，比原来增加3倍。由此可见,开发海洋能源,对于海岛建设、守土固疆具有重要作用。

http://bbs.3s001.com/

表 16　　我国潮汐能源分布简表

地区	平均潮差（米）	装机容量（×10⁴ 千瓦）	年发电量（×10⁸ 千瓦时）	说明
辽　宁	2.57	58.62	16.14	1. 平均潮差是按省调查的港湾（河口）水库面积加权平均求得 2. 本表调查以装机容量大于 500 千瓦为起点 3. 据另一资料，台湾省平均潮差 1.8 米，装机容量 1.06×10⁵ 千瓦，年发电量 2.7×10⁴ 千瓦时
河　北	1.01	0.47	0.09	
山　东	2.36	11.78	3.63	
江　苏	(1.6～3.7)	0.08	0.04	
长江口北支	3.04	70.40	22.08	
浙　江	4.29	880.16	263.44	
福　建	4.20	1032.40	283.82	
广　东	1.38	64.88	17.20	
广　西	2.46	38.37	10.92	
台　湾	(1.8)	(暂缺)	(暂缺)	
合　计		2157.52	618.06	

海洋能源的发展，将来还可能为海上工程作业提供便利的电力。随着海洋开发的离岸发展，海洋开发本身需要越来越多的能源。例如，目前海上钻井平台主要依靠柴油机发电，电源有限。如果发展海上移动海洋能发电装置（像风和波浪复合发电装置），可以跟随海上工程活动使用，解决离岸工程用电问题。在南沙、西沙群岛等地，可以发展海洋热能发电，既解决用电，还可以搞海水淡化，解决淡水供应问题。现在国外还在开发防波堤式的海洋浪发电装置，如果我们也在这方面进行一些研究，将来可以在海港建设中发展这种消波和发电两用的波浪能开发工程，可大大提高港口的经济效益。

从上述海洋能源资源的初步评价看，它在我国能源开发中具有某些明显的优势，有发展前景。特别是潮汐能资源，是我国海洋能源开发利用中最有发展前途的一种，值得重视。

http://bbs.3s001.com/

二、海洋能技术开发

(一)我国海洋能开发

现代海洋能源开发主要指利用海洋能发电。我国利用海洋能源发电研究,始于 20 世纪 50 年代中期。起初着重于研究开发利用潮汐能资源,建设潮汐发电站,到 70 年代中期,开始进行波能和潮流能的开发研究,现在又着手海洋热能(温差能)和盐差能开发原理和技术研究。目前我国海洋能开发研究,特别是潮汐能和波浪能发电方面与国外差距不大,今后大规模的开发利用具有一定基础和条件。

1. 开发实践

我国从 1955 年开始建设潮汐发电站以来,建成了一些成功的小型潮汐电站。到目前为止,我国共有 8 座潮汐电站正常运行发电,额定装机容量 4 680 千瓦,年发电量约 1 500 万千瓦时(表 17)。其中比较典型的有如下三座电站:浙江省沙山潮汐电站、浙江省江厦潮汐电站、山东省白沙口潮汐电站。我国从小型潮汐发电站发展的反复过程中,吸取了正反两方面的经验教训。积累了丰富的实践经验,现在正走上健康发展的道路,也为今后海洋能源开发提供了有利条件。

我国波浪发电装置的研究是 70 年代中期从上海开始搞起来的。1975 年,原上海锅炉厂仿制了一台日本空气浮筒小型波浪发电样机,海上试验获得 1 千瓦以上的电力。从 1979 年初,上海航道局设计研究所致力于航标灯用小型波浪发电装置的研制,1982 年研制成功,目前正在上海航道局推广使用。近年国内其他单位也在进行波能发电的研究。1982 年,山东海洋学院

表 17　　我国运行发电的小型潮汐电站简况

站名	位置	型式	机组数量	装机容量		每年耗电量（×10⁴ 千瓦时）		总投资（万元）	建站时间	投产时间
				设计（千瓦）	实际（千瓦）	设计	实际			
沙山	浙江温岭	单库单向	1	40×1	40	9.3	8.5	3.98	1958	1959.10
岳甫	浙江象山	单库单向	4	75×4	75×1	60	6.2	29	1970	1972.5
海山	浙江玉环	双库单向	2	75×2	150	31	5～7	32	1973.7	1975
江厦	浙江温岭	单库双向	6	500×6	500×1	1070	116	1200	1972	1980
白沙口	山东乳山	单库单向	6	160×6	640	232		471.6	1970.11	1978.8
浏河	江苏太仓	双向半贯流式	2	75×2	150	25	6	25.32	1970.6	1978.7
筹东	福建长乐	卧轴轴伸式	1	40×1	40			3	1958	1959
果子山	广西龙门港	单库单向	1	40×1	40			12.3	1976	1977.2

http://bbs.3s001.com/

http://bbs.3s001.com/

研制的小型气动式波力发电机，实验室模拟试验和水池试验表明，萨沃纽斯型定转向空气涡轮机的效率可达 65%。1984 年 6 月，广州能源研究所研制的采用无阀式空气透平的小型波能发电装置样机在海上进行了试验,所获取的数据表明,波能发电装置发出的电量是航标灯用电量的 6 倍多。此外，上海交通大学和广州能源研究所于 1983 年和 1984 年分别提出 500 瓦和 3 000 瓦波能发电装置的研制方案,并进行了技术论证,目前正在实施阶段。

潮流发电研究起步较晚，1978 年开始只有少数人在做,现在已有几个科研单位进一步研究。1984 年 8 月,对哈尔滨船舶工程学院研制的 60 瓦潮流发电样机进行了鉴定。

2. 技术进展

与海洋能源开发相应，其开发技术研究也取得很大进展。我国小型潮汐电站开发技术已趋成熟。机组方面，目前江厦潮汐电站已成功地使用了我国自己设计制造安装的双向贯流灯泡型机组，水轮机转轮采用天津电传研究所研制的 GZNOO5 型 S 形叶片的转轮,直径为 2.5 米,具有正、反向发电与泄水四种工况。发电机为卧式电机,单机容量 500 千瓦。在水轮机和发电机之间用 118:500 转／分的行星齿轮增速器连接。由华东勘测设计院与华东水利学院联合研制的 SGZ4－25 型机组,采用水轮机与发电机直联，转速为 125 转／分,单机容量为 700 千瓦，1984 年运行发电。水工建筑方面，广东和江苏若干小型水闸和水电站,成功地采用浮运水工结构和橡胶闸结构,这些经验运用到潮汐电站建设中,可以降低工程造价,提高发电效率。为保证潮汐电站的发电质量,提高经济效益,有些潮汐电站采用了新的电子技术，实行自动运行控制。如江苏浏河潮汐电站，1983 年

http://bbs.3s001.com/

完成了新技术改造,采用微型电子计算机控制两台 75 千瓦发电机组,自动进行开启、增速、电压、频率的控制和电力并网,当水头低于设计的发电要求时，还能自动停机，避免发生意外事故，实现了运行控制的完全自动化。江厦潮汐电站利用电子计算机能正确地做潮位预报，无论什么情况都能保证潮汐机组的最大出力。

另外,防淤排淤和防海水腐蚀、防生物附着等技术问题,都有了解决办法。浙江海山潮汐电站采用机械和水力结合排淤获初步成效 ;江厦潮汐电站对机组和水工建筑物采用涂料保护,电解海水,外加电流阴极保护等措施,使防腐、防生物附着成效显著 。

波能开发技术方面，目前国外气动式小型航标灯用波力发电装置已达商用化，我国在这方面的研制工作也取得明显进展。其吸能装置由工作气室和阀门组成。要求气室有良好的气密性和耐腐蚀性,我国目前选用钢板焊接或玻璃钢整体模压而成 阀门设计要求气密性、灵活性、耐腐蚀性好。我国航标灯用波力发电装置是四阀双作用式,阀门通气孔直径为 125 毫米,阀座与垂线成 5°倾斜角。转换装置由喷嘴、涡轮发电机、控制器组成，涡轮有直径 200 毫米的 31 只铝合金叶片。目前，广州能源研究所已研制出威尔斯透平无阀式装置样机，准备在千瓦级波能发电装置上采用。喷嘴为不锈钢叶片，发电机为永磁交流硅整流发电机。蓄能目前采用 B－500 型低效率蓄电池,容量 500 安时,单位电压 2 伏。至于输能和锚泊以及材料、结构、防腐蚀和防生物附着等技术，在造船业和海洋工程方面有较成熟的经验可以借鉴。

3. 开发研究力量

http://bbs.3s001.com/

经过多年来的发展，我国海洋能开发研究已积蓄了初步的技术力量，包括人材和设备。现有从事海洋能开发研究的科技人员 150 多人,主要分布在水电部门、交通部门、国家海洋局、高等院校及科学院系统。其中以水电部门及其所属的沿海省区等机构力量较为雄厚，他们有近百名科技人员从事沿海潮汐发电站的设计和研究，是我国潮汐能源开发研究的骨干力量。其他部门从事海洋能源开发研究的科技人员也有 30 多名,多侧重于波浪发电研究。并有各种波浪试验水池多座和相应的测试手段。

（二)国外海洋能的开发

1. 潮汐和潮流能

人类很早就利用了潮汐。11 世纪左右的历史记录里有潮汐磨坊。几百年前的一份调查写道“:居民还利用河湾筑起一座堤坝,横跨河流两岸,坝内有一道闸门。闸门在潮涨时打开,退潮时水的重量将门关闭。于是被蓄起来的水流出来推动水轮。”潮汐动力用来抽水、加工农产品和从事其他作业。当年欧美沿岸建造过许多磨坊,功率在 22～735 千瓦之间,有的一直运转到 20 世纪。

20 世纪初，欧洲开始利用潮汐发电。例如，在第一次世界大战前，德国石勒苏益格一荷尔斯泰因州的胡苏姆， 20 年代和 30 年代法、美,曾动工兴建较大的潮汐电站,但都没有建成。

第一座具有商业规模的现代潮汐电站建在法国朗斯河口，1966 年第一台机组投入运行，1967 年底全部机组投产。该站址潮差最大 13.4 米,平均 8 米，单库面积最高海平面时为 22（千米）^{2},平均海平面时为 12（千米）^{2},大坝总长度 750 米,装机 24 台,每台 1 万千瓦,共 24 万千瓦，设备以最大出力和正常效

http://bbs.3s001.com/

率运行时年平均发电量 5.44 亿千瓦时，装机容量的大小是经过经济分析后作取舍的。它是世界迄今利用潮汐能或海洋能发电规模最大的电站。

潮汐涨落有规律地按太阴周期时刻变化着，而人类活动按照太阳周期。电力的价值取决于一天之中需求的时间，一周之中假日会低于平日。为着适应这些以获得最大限度的电能或者最大限度的经济收益,朗斯电站采用 6 种工况运行：正向发电、反向发电、正向排水、反向排水、正向泵水、反向泵水。这 6 种工况多循环的最优结合，是十分复杂的。朗斯电站可以按供电价格大小随时间的不同择优运行，发电较少时由火电厂补充。它制定数学模型、编制运行程序并利用计算机自动运行和作多种分析。不过,据程序计算,只有在每小时电价差别很大时(如最高为最低的 5.7 倍),双向发电才有利(增加经济效益约 25%)。如差价仅为 2 倍，双向发电并无明显效益。

朗斯电站采用能作六工况运行的灯泡式贯流水轮发电机组,转轮直径 5.35 米，贯流机组适合于潮汐低水头大流量的条件，它比竖轴有蜗壳的卡普兰机组有更优的能量特性。在相同容量下,转轮直径可减少 13% ,造价便宜 10%～15% ,由于省掉了高大的肘管，可减少厂房基础开挖深度和混凝土浇灌厚度。贯流式机组结构紧凑,可缩小机组间距,因而可缩短厂房和整个坝的长度，节省土建费用约 20%。所以，采用灯泡式贯流机组是朗斯电站一项重大的技术成就。机组正常运行后平均运转率接近 95%。但 1975 年发生电机定子与转子摩擦着火事故，其原因是设计中低估了瞬变状态下的电磁和机械应力，致使紧固件强度不够，经暂停水轮机双向运行和抽水运行进行加固，至 1982 年全部恢复正常。

http://bbs.3s001.com/

大坝两端是船闸和泄水闸。中段设置电站厂房。这段是空腹混凝土坝，顶部做成拱形以承受水压力。应该指出，潮汐坝不同于水坝，它两侧受交替水压，而水位差较小，但海水侧要受到海浪的冲击。全部建筑是用围堰法抽干水后进行施工的，共浇注混凝土 35 万米^3,用了 1.6 万吨钢材和 27.5 万米^2 钢筋结构，建设花了 6 年时间。工程最困难和最重要的是主坝海水侧围堰，这是一次分隔海洋的截流。随着围堰工程逐渐进展，潮汐过流量越来越集中于龙口，两侧水位差可达 3 米。朗斯工程用直径 9 米的钢筋混凝土圆柱形沉箱做围堰的支撑件，用钢筋混凝土叠梁截流，对被冲蚀的河床等临时采用沉放混凝土块的措施。模型试验精确地预测工程应于何时如何施工。

海水不单含有盐类，而且含有有机物。潮汐电站不同于河川电站，其设施受到海水的侵蚀。朗斯电站对金属部件成功地采取了几种防蚀防垢措施：上涂料，选用贵金属和阴极保护，水线以上或不是长期浸在水下的设备，采用聚乙烯类涂料，镉镍铜钢和铝质青铜被用作轮叶的材料。阴极保护很成功，后来扩大用在闸门等。水工建筑采用几项防水处理方法：用柔性材料浇注裂缝，用胶粘水泥填塞接缝，用环氧树脂基材料作表面一般处理等。15 年后，浸入海水中的混凝土结构毛病很少，只有海水溅泼区出现轻微损蚀。

紧接着法国朗斯电站，1968 年前苏联在摩尔曼斯克附近的基斯拉雅湾建设了一座装机 400 千瓦的潮汐试验电站。电站成功地试验用沉箱法筑坝代替曾有朗斯电站巨大难题的海水围堰法。钢筋混凝土动力房沉箱长 36 米,宽 18.3 米,高 15 米,能容纳两台 400 千瓦容量的灯泡式水轮发电机组和进出水道，重 5200 吨，沉箱在干船坞建造并装上一台机组，然后浮运到站址，

http://bbs.3s001.com/

沉在准备好的砂砾基础上。动力房安放的垂直和水平位置偏差只有几毫米。沉箱底部的钢片伸到其下沿以下，使底层免受波浪冲刷。由于前苏联有利于建站的坝址均位于严寒地带，不便于现场施工，也促使采用这样新的厂房结构和施工方法。同样的理由,对各种材料除了防蚀防垢外,还须抵抗温度应力,方法是对建筑物进行热绝缘，在混凝土上衬上加强的环氧树脂板。

在朗斯电站建成 10 年之后，加拿大拟在潮差高达 6～15 米的芬地湾内科比奎得湾建设装机 400 万千瓦左右的电站，并首先自 1980 年开始在新斯科舍省安纳波利斯一罗耶尔建试验电站。试验电站用来验证新型的全贯流水轮发电机组。贯流式水轮机安装在水平的水流通道中，发电机转子附着在水轮机桨叶周边组成旋转体,定子安装在水轮机流道外边,构成没有传动轴的直接耦合机组。转桨直径 7.6 米,额定水头 5.5 米,额定功率 1.78 万千瓦,额定转速 50 转／分,由于发电机的尺度不受限制，可以采用最优的转子直径并得到较高的转子转动惯量，较易解决通风问题,而且较易进入。作为对比,灯泡式机组为使水流畅通,发电机直径必须尽可能缩小,相应增长铁心,影响了效率,在通风上要采取在灯泡体内加压等措施。灯泡式机组转动惯量小,对电网发生意外事故时动力稳定性有影响。据称,全贯流机组由于其结构简单紧凑，可以比采用灯泡式机组降低工程造价 15％，全贯流机组的难点在能经受推力和转子飞逸时保持稳定、转子轴承的安全运行以及转子轮缘和壳体中间的密封。该站所采用的受力轴承是常规的水动力套筒式，密封由特殊的合成材料弯曲压贴在构件上,用水润滑。电站建成后,将与 100 千米以外的海尔门水电站并网并由水电站遥控。

半世纪多以来,虽然建成的潮汐电站为数寥寥,但是对有潜

http://bbs.3s001.com/

力的站址进行研究规划和设计的方案是很多的。花功夫最多的有美国、加拿大芬地湾内诸港湾和英国塞汶河口的潮汐电站方案，近年报道在进行规划设计的还有前苏联的白令海美晋湾和卢姆博夫卡湾、鄂霍次克海的品仁纳湾，英国的斯特伦福特湾、韩国的加露林湾、印度的卡奇湾等。1978 年加拿大大坝委员会的报告、1982 年在加拿大召开的‘ 潮汐动力新方法 ’国际学术会议以及其他的一些文献提出了各种潮汐发电研究的新见解和成就。

在潮汐电站总体设计上,近年有主张采用单库方案,而且认为单向发电结合利用电网火电站和抽水储能等的容量是可取的。这种系统可以把水轮机和相应结构简化，坝后水库水面积在高水位和海平台之间变动,水位变化小,水深增加,有利于航运和环境。持这种主张的人认为：朗斯电站在技术上是成功的，但绝不是最佳方案。为什么不能放弃这个老在蓄水库库面高低上打主意的复杂方案而着力于使电力生产尽可能便宜些呢？现在许多工程师承认，用定桨式全贯流机组单向发电费用最低。

在机组上，新提出采用尾水闸门启动和停机的固定桨叶和导叶水轮发电机变速发电。发出的电的频率是变化的，先整流变成直流电向外传输，在用电处再逆变为交流电。早期的研究表明可以增加发电量。

在水工上,除成熟的钢筋混凝土沉箱外,新提出在窄狭海湾采用钢制沉箱。这样可以同时在几个船坞上建造，不需特殊的建设场地,机组安装容易,沉箱吃水深度浅,可以较早截流、较早发电,修理工作也较简单。此外,前苏联研究连续爆破,把岩石排成坝状后用混凝土加固的筑坝技术，据称可大大削减建设费用。还有提出用橡胶坝的。

http://bbs.3s001.com/

潮汐发电除了大型电站技术之外还出现开发低水头的小型和简化的潮汐、潮流装置的研究。1982 年加拿大已在河流里试验了一种立式直叶片水车。水车吊装在锚定的浮船下面，有 3 个 1.5 米长对称翼型叶片,发电机安装在船上,所发电力并入电网。下一步制造在高峰流速为 3～5 米／秒潮流中的装置,投放在芬地湾。类似的垂直轴水车在英国、日本、澳大利亚等国也有研究和试验的实例。据报道，英国近年还研究出两种新颖的低水头装置，利用上下流闸门的开闭产生高压水发电。这些装置效率不如正规的水轮机,但造价低,结构可靠,也不需要巨大的水坝,被认为适用于偏远地区。

2. 海洋温差能

早在 1881 年，法国物理学家德阿森瓦提出利用海洋表层温水和深层冷水的温差使热机作功，过程如同利用一种工作介质(二氧化硫液体)在温泉中汽化而在冷河水中凝结。1926 年,法国科学家克劳德在法国科学院进行了一次公开海洋温差发电试验,在两只烧杯分别装入 28℃的温水和冰屑，抽去系统内的空气,使温水沸腾,水蒸气吹动透平发电机而为冰屑凝结。发的电点亮 3 个小灯泡。当时克劳德向记者发表他的计算结果称：如果一秒钟用 1 000 米^3 的温水,能够发电 10 万千瓦。

克劳德后来利用比利时乌左里钢厂排出温水与表层海水，采用 60 千瓦出力透平进行试验，以验证其热力学计算。1930 年,在古巴曼坦萨斯湾海岸建成一座开式循环发电装置,把 2 米外径的管道敷设在 2 千米的海下,从水深 650 米处引来了冷水。实验的冷却水量 720 吨／小时，表层海水温度 27℃、深层水温 13℃下进行,出力 22 千瓦。但是，该装置发出的电力还小于为维持其运转所消耗的功率。其后，在象牙海岸阿比让筹建净输

http://bbs.3s001.com/

出功率 2×3 500 千瓦的开式循环电站，也未获得成功。

1964 年，美国人安德森重提类似当所德阿森瓦闭式循环的概念。他指出“克劳德的设计虽然能够工作,但不经济。其主要原因是工质选用了大气压以下工作的水蒸气,密度小,透平效率低。为了得到大的动力，就不得不使用很粗的管道和极大的透平。同时,克劳德从海水中抽出气体的方法也是困难的。”闭式循环使用在高压下比水沸点低、密度大的工质,并且提出蒸发器和冷凝器沉入与工质压力相同的水压的海中，发电站采用半潜式的。这样可以使整个装置体积变小，而且避免风暴破坏。安德森的专利在技术上为海洋温差发电开辟了新途径。

70 年代以来,美国、日本以及西欧、北欧的一些国家对海洋热能利用进行了大量工作,由基础研究、可行性研究、各式电站的设计直到部件和整机的实验室试验和海上试验。研制几乎集中在闭式循环发电系统上。美国能源部利用一艘油船改装成 OTEC－1 海上实验装置,具有 1 兆瓦动力，在夏威夷海域进行主要部件试验，并在夏威夷建立一个岸边实验室。日本电子技术综合研究所、佐贺大学分别建立过 2 个和 7 个试验装置。作为整机在海域运行发出电力的则有美国夏威夷地方政府等在夏威夷海域的 MINI－OTEC 装置、日本东京电力公司和东电设计公司等在瑙鲁岛的装置、日本九州电力公司在德之岛的装置。

夏威夷海域的 MINI－OTEC 装置安装在一艘重 268 吨的海军驳船上。闭式循环用氨作工质，板式钛热交换器面积 37.9 米^2,发电机额定功率 50 千瓦。聚乙烯冷水管直径 0.6 米,长 663 米。1979 年 8 月开始发电。在表层海水温度 28℃、深层海水温度 7℃时发出功率 53.6 千瓦,占总输出的 34％。这是人类首先从海洋热能中获得具有实用意义的电力。

http://bbs.3s001.com/

瑙鲁岛的装置设置在岸边，闭式循环用氟利昂 22 为工质。采用壳管式钛热交换器,温水量为 1 450 吨／小时,发电机额定功率 100 千瓦。聚乙烯冷水管内径 0.7 米,管长 1 250 米,取水深度 580 米。1981 年 10 月开始发电，其后进行热循环试验。该海域表层温度为 30℃,600 米深度处为 7℃。试验得到发电端额定功率 100.5 千瓦,净输出功率 14.9 千瓦。最大功率 120 千瓦,净功率 31.5 千瓦。进行了三班制的昼夜运行 10 天,证实了可靠性。净输出电力送入瑙鲁岛电网。

德之岛的装置设置在岛上的发电厂里，它利用柴油发电机冷却器的温排水进一步加温表层海水达 40℃。硬质聚乙烯冷水管长 2 400 米,管径 0.5 米,水量 5 000 米^3／小时,水深 370 米,水温 15～16℃。闭式循环用氨为工质，钛蒸发器采用板式，传热面积 102.6×2 米^2,冷凝器采壳管式,发电机额定功率 50 千瓦。1982 年 8 月开始试运转，得到净输出为 18 千瓦的试验结果。

闭式循环系统的关键部件是热交换器。虽然海洋能转换的热交换器是在低于 101.3 千帕(10 个大气压）和常温环境下工作，较之常规火力站的高温高压锅炉可以使用薄得多和差一点的材料，但低温差相应带来转换效率低，热交换面积要十分大。换热器的造价会占总投资的 40％左右。为提高换热系数,目前正研究新的换热器结构,除壳管式之外有板式、平板翅片式,除光滑管之外有多孔涂层管、翅片管、波纹管、槽形管,并提出降膜蒸发、喷雾蒸发等。据报道,采取这些措施后,换热系数可以提高一倍至数倍。热交换器材料有用钛、铝合金、不锈钢、铜合金、包复合金、塑料等方案。钛被认为是较好材料,导热性能好,能抗氨腐蚀和经受海水侵蚀,但价格高,供应量有限。日本推荐用

http://bbs.3s001.com/

钛,美国则推荐用铝。对于海洋生物污染产生热阻,研究了清洗海水侧换热面的措施。美国研究使用杀虫剂和机械刮洗器，日本对壳管式采用通过球体的机械法，对板式采用定期海水反向冲洗和通过微粒浆机械清除。

闭式循环选用什么低沸点物质作为工质？理想工质须具有良好的物理、化学、热力学、传热和流体力学等综合性能,并且要具有不易燃、不易爆、无毒、价格低廉和资源丰富等特点。针对温差小、工质流量大的特点,还要求每单位功率的工质容积流量尽可能小,工质有较大的放热系数,以尽量减少设备的尺寸。实际上很难找到全面符合上述要求的工质,经研究,目前采用氨和氟利昂 22。输出相同功率时,氟利昂 22 的容积流量较大,而价格较昂。氨的传热性能好,但有毒、易溶于水。除上述外,新的更优工质还在研究中。另外，闭式循环运行系统要有良好的密封和检漏措施。

透平发电机由于热落差小，一般采用一级或二级反动式透平。以瑙鲁岛试验装置为例，它的透平与相同输出功率的水蒸气透平相比，质量流量为其 100 倍,而容积流量约为 1/100,透平尺寸相当紧凑，透平在 750～1800 转／分低转速和常温下工作,强度上的问题是少的。

海洋热能转换特有的一项有难度的新技术是关于冷水取水管的问题。一个 10 万千瓦级的漂浮电站每小时要处理海水总量有 160 万吨,直径 10～30 米、长 500～1 000 米的垂直冷水管须安设在深水处，而岸式电站架设在海底斜坡上的冷水管长达 1 000～3 000 米。漂浮电站冷水悬管要经受海洋作用力，要有活动关节或能随热弯曲，平台与冷水管的连接是一项关键。岸式电站冷水管要遇到安装处理管道涨缩和支撑管道基础的长期

http://bbs.3s001.com/

稳定性等问题。管道材料要求强度高、耐腐蚀、绝热、密度小等。据试验,增强塑料和聚氯乙烯、聚乙烯较好,增强水泥也在研究中。管道直径与泵动力的消耗、弯曲弹性率、隔热性等有关,管道直径过小会增加泵动力的消耗。小型电站发出的功率大部分就消耗在各种泵动力上，如是大型电站并适当提高透平和泵的效率,则此种消耗可降为 25%～30%。美国 1983 年对直径 2.44米、长 121.92 米、重 85 吨的增强塑料管以万向接头连接在驳船上进行海上运行试验,对 3 周时间内的数据做了详细记录，为下一步 4 万千瓦电站 10 米、直径 900 米长的增强塑料冷水管设计提供充分的依据。此外，美国要在岸边试验室研究岸式冷水管技术，包括用大直径管道水泥连接和装卸。日本在两个实型装置上也取得了岸式电站冷水管建设的经验。瑙鲁岛电站冷水管敷设用浅水悬浮曳航法，德之岛用海底悬浮曳航法。在现场将管道边焊接边由船只拖向海上,用浮筒保持在海面下,然后自动切断浮子就位。敷设不分昼夜，各用了 50～60 小时完成。下一步日本对大型岸式装置的冷水管设施，提出研究早年克劳德设想过的隧道构造。

作为整个闭式循环能量转换系统，要使部件匹配最优化。例如，瑙鲁岛装置对其系统热平衡是作了细致研究的。适当选取温海水温降和冷海水温升,否则不是致使工质流量过大、传热面积过大,就是抽吸海水量过大,都是不利的。由于抽吸深层冷海水比表层温水的代价大，最佳工况倾向于取冷海水温升比温海水温降大一些。在冷水管深度和可得到的温差之间也存在最佳匹配。

漂浮电站还有海上平台定位和海底输电的问题。美国一项 16 千瓦漂浮电站的设计,采用直径 76 米、长 180 米、重 23.5 万

http://bbs.3s001.com/

吨的钢筋混凝土平台。为了避免恶劣海况的侵袭，除了水面式外，还提出结构紧密的半潜式和潜式。电站的定位可用深海锚式或动力定位。美国该项设计，其重力锚由 24 个直径为 3.6 米的球体组成,可产生 450 吨垂直阻力和 600 吨水平阻力。输电电缆要布设在水深 600～1500 米的海底,离岸 10～150 千米,受到大的水压和海流冲击，而且电站是摇动的，因而技术要求高。输电须用较高电压，或者以直流输电。

当前海洋温差发电正走向实用化。正在进行的有：美国在夏威夷海域设置装机各为 4 万千瓦的岸式和漂浮式试验电站的设计,日本在瑙鲁岛建设装机 1 万千瓦的岸式电站设计；法国塔希提岛 5000 千瓦装置第二阶段海域调查和关键技术开发。此外，荷兰与印尼签订在巴厘岛建设一座 500 千瓦岸式装置,印度有一项在泰米尔纳德海岸建设 1000 千瓦电站的计划。

除了闭式循环发电技术接近成熟之外，其他利用海洋热能的方式也在研究中，包括开式朗肯循环发电、雾状流和泡沫提水循环、热电转换和非发电方式等。

关于开式循环，美国近年的文献论证了在闪蒸器内使用喷雾系统或降膜方式可以改善传热性能。降膜薄板采用便宜而不导热的材料，其换热面积比闭式循环的小一个数量级。在透平设计上,一个 10 万千瓦的开式循环电站若设 6 台机组,透平外径只有 23.7 米,叶片长 8.23 米,转速 225 转／分,在常规技术的范围内只占电站总费用的 3%。对抽出进入系统的海水空气所耗的功，只使此系统净输出功率降低百分之几。

雾状流和泡沫提水循环是美国近年提出的。利用温海水绝热膨胀的能量，通过雾化器或加发泡剂将海水提升，然后利用具有一定势能的海水通过水轮机作功，目前正在进行机理研究。

http://bbs.3s001.com/

热电方式利用两种导体接触点间存在温差时产生电动热的热电效应直接把热转换为电。如果能提高效率，可望用于小容量装置。日本正在研究。

非发电方式的例子有直接利用海洋热能来制取淡水。表层海水吸取太阳能而蒸发到大气中，而深海冷水冷凝大气的水蒸气得到淡水。也有开式和闭式系统两类。

3. 海洋波浪能

全世界利用波浪能设想数以千计。这个领域被称为“发明家的乐园”。见于文字的波能装置专利，可上溯到 1799 年法国人吉拉德父子。据统计，1973 年前的 119 年中，英国有 340 项专利，1956 年法国调查得到 600 篇关于波能装置的说明。最早的关于波浪能的论文之一发表于 1892 年美国机械工程师学会年会，文中讨论了 19 种波能装置。在 20 世纪 60 年代以前，付诸实施的装置据报道至少在 10 种以上，遍及美国、加拿大、澳大利亚、意大利、西班牙、法国、日本。早期的装置绝大多数设在岸边，用浆或浮体吸收波浪能，然后经过机械传动装置或水泵转换，用来发电或泵水。另辟蹊径的有法国人布索－帕拉赛克 1910 年建的一台气动式波能装置，供应他住宅 1 千瓦的电力。该装置是在岸边挖一封闭的深洞并与海水相通，洞内水面受海浪作用升降，压缩和抽吸水面上的空气，然后驱动透平发电机。1947 年日本人益田善雄试验过海上漂浮三浮筒型波力发电机。只是早期装置没有长期运行并保持下来。不过，从前人早期探索中，几乎可以看得到现代几种典型波能装置的雏形。

益田善雄在 60 年代开始对气动式波力装置进行研究。由安设岸边到用于海上漂浮的导航灯浮上，获得成功。自 1965 年以来，导航灯浮用的波力装置几经改进，由冲击式透平到试验威

http://bbs.3s001.com/

尔斯透平,冲击式由四阀到单阀,由中央直管到试验弯管,由额定功率 60 瓦到 500 瓦。小型装置生产迄今已 1 000 台以上,除日本自用外,并向美、英、加等国家出口。英国也有生产。气动式成为世界首先获得成功的也是迄今唯一商品化的波能装置,从技术上看,是因为气动转换可以较简单的结构实现使缓慢的波浪运动增速和能量转换,而且主要机件避免和腐蚀性强的海水接触。

在浮灯用气动装置的原理并加变换(由浮体吸能、水体静止改为浮体静止、水体吸能)的基础上,1974 年起,日本海洋科技中心开展波力发电船的研究试验。建造了一艘称为‘海明’号的发电船,船体长 80 米,宽 12 米,高 5.5 米,大致与 2 000 吨级货船相当。设有 22 个底部开口的空气室,每室占水面积 25 米^2,每两个空气室安装 1 个阀箱和 1 台空气透平发电机。空气透平是冲击式的,叶轮直径 1.4 米,每台机组发电额定功率为 125 千瓦,最高为 200 千瓦。试验地点在日本海岸外 2.6 千米,水深 40 米,船头面向波的方向以锚链系留。第一次试验在 1978～1979 年,装 3 台日制两阀式机组。第二次试验在 1979～1980 年,由日、英、美、加、爱尔兰五国合作,增装了四阀式机组 5 台(包括英制的 1 台),总共 8 台。“海明”号实验的成就是实现了世界迄今为止最大出力的波力发电,无故障运行年发电量 19 万千瓦时。较好的一台机组在有效波高 3 米时最大发电量 110 千瓦,平均 17.5 千瓦。验证了系泊安全,实现了小规模自海上浮体通过海底电缆向陆上送电,有一台机组与陆地电网并网(冬季 3 个月)。试验表明,“海明”号的出力没有如预期那么大。据分析,原因是船体比海域盛行波长短、产生升沉运动、空气室口向下的效率低等。以后日本进行了第二期‘海明’号发电研究和改

http://bbs.3s001.com/

进，并投入海上试验。

就在第一期‘海明’号试验所在的山形县海岸边,日本新技术开发事业团在几年的基础研究和调查之后，1984 年建造了一台岩岸式空腔气动式波能装置,并开始试验。气室宽 8.1 米,纵深 7 米,离水面高 5 米,侧开口处水深 3.5 米。为适应大波浪条件并缩短在不规则岸场上的工期,采用钢沉箱施工法,钢材外面则覆盖 40 厘米厚钢筋混凝土。该装置的威尔斯透平发电机组额定功率为 40 千瓦，最初的短期观察发出了 12 千瓦的电力。这是继‘海明’号之后另一能发出一定电力的实型试验装置。

同为空腔气动式与‘海明’号同时开始进行研究的有英国国家工程研究室的振荡水柱装置,它是英国 70 年代最初开展的 4 种装置之一，近年以来在继续得到财政拨款。它的新近设计有 4 个机组,总额定功率 4 兆瓦。装置宽 84 米,纵深 34 米,高 36 米,作为防波堤固定在浅海海床上,对着来波。由于波能变动性大,第一级(波一水柱)转换效率值往往在各转换环节中是最低的,振荡水柱的技术成就是对气室设计成装底侧向,而且形状不对称,后壁和尺寸前倾,前壁插入水中很浅。气室的几何形状和尺寸使其内的水柱与总能量最大的波浪共振，并有较宽的频率响应范围，从而获得最大限度的能量转换效率。英国另一种近年正在研究的振荡水柱是维克斯公司的潜式装置，它设计在水下,因而结构负荷可以减少,而且能避风暴,比较安全。

气动式装置的一个关键部件是空气透平。由于能量往复脉动,即使采用常规的冲击式透平也是不寻常的。日本第一期‘海明’试验比较了用作整流的两阀式和四阀式阀箱,得知后者比前者效率高约 2 倍,英国振荡水柱设计用两排导流叶片,其中有一排是可调的,以适应不同的海况,特别是英国人威尔斯创造性地

http://bbs.3s001.com/

采用对称翼型叶片转子，气流在转子往复流动时都使转子作单方向的转动,从而减免了常规透平的整流阀门。“海明”号上的阀箱太大太重,费用几乎占了船体的一半,有 5 000 个阀片,易出故障。威尔斯透平还可以高速旋转，有利于稳定出力。1980 年日本向英国购买该透平的专利,英、日对威尔斯透平进行了性能试验研究,一些气动式装置包括日本第二期“海明”号和岩岸式装置均采用威尔斯透平。减轻轴向力，采取在发电机两侧各安装一转子的型式。在无阀式透平上，美国人麦考密克还研制了一种相向旋转双轮装置。

近十年来，波能装置研制中与空腔气动式并行的另一类型是浮体液动式，其最著名的有英国的点头鸭和波面筏。索尔特提出的点头鸭,其吸能浮体剖面作凸轮形,排列成与来波方向垂直,绕着中心“脊柱”作摆动而驱动液压泵。为了试验该波能装置的小缩尺模型，在爱西堡大学专门建造一座有 89 个独立的抽吸造波器由电子计算机操作产生不规则波的 27 米 × 11 米水池。同时,以 1/10 比例样机(25 个鸭体直径 1 米、宽 2 米、总长 50 米,总排水量 25 吨)在内斯湖的湖面上进行试验,获得 50% 的转换效率。其后鸭式改用陀螺机构吸收运动能量驱动油泵，减轻了过高的“脊柱”负荷。气垫船发明者科克瑞尔提出的波面筏是一对相对运动的浮体,曾以 1/10 样机在真实海洋条件下进行试验。上面两种后来因结构复杂暂缓进行研究。再如，英国还研究过一种也是浮体液动式的水下布里斯托尔振动柱装置。此外，曾从事鸭式装置试验的单位新研究一种蛤式气动式装置，其吸能体采用鸭式装置绕“脊柱”摆动的原理。一般评价是鸭式装置的吸能方法能够获得较高的效率。

还有一种被称为被动式的波能装置，将波能转换为水流动

http://bbs.3s001.com/

能或水位能贮在水库里，然后驱动水泵抽水发电或直接驱动水轮机发电。早在 1958 年,英国开始研究在毛里求斯建立一座这样的电站,近年提出的电站方案电力为 2 万千瓦,斐济也拟仿照毛里求斯的方式进行 1000 千瓦的试验项目。美、英、日分别曾经作过研究的坝礁、拉塞尔整流器、波流发电堤也都属于此类。

因为波能十分分散,将分散的能量集中后转换,可以使机组结构紧凑。常见的设施是波流发电堤所采用的收敛波道。美国试验了一种半潜圆穹——坝礁,波浪在圆穹上方通过时,因水变浅而折射,聚集于圆穹中心,可以全方位地聚集波能。挪威以同样的折射原理聚波,但采用潜没水中的凸形结构来改变水深,称为‘透镜’聚集。上述方法虽然理论计算和试验表明有较好的效果,但都要建造十分庞大的聚波设施。

挪威在聚波理论上作了创造性的探讨。1975 年《自然》杂志发表了挪威特隆赫姆技术大学巴得尔和范里斯的论文《一种点式海洋波能共振吸收器》,文中提出,类似无线电波天线效应那样,如果点式吸收器(如浮子)的自然频率调谐到来波特性频率而产生共振，则该浮子吸收波能宽度比浮子本身的宽度（直径)大得多,从而可以以体积较小因而价格较廉的吸能器获取大范围的波浪能。文中还指出，浮子最大功率输出的条件是负荷和辐射出的波能相等。在其后的研究试验和论述中，进一步得出小振幅正弦波中，点吸能器的最佳吸收宽度与其几何尺寸无关,而等于 $\frac{\lambda}{2\pi}$,λ 为波长。一排相隔距离为 $\frac{\lambda}{2\pi}$ 的浮子,理论上可以吸收入射波能的一半，而加上作为反射器的另一排浮子或垂直墙，可以吸收全部的入射波能。问题是如何使吸能器与不规则波和变动着的波浪频率调谐。设想可以对浮子采用可变配重

http://bbs.3s001.com/

系统。一个用在空腔气动式的比较现实的方法是相位控制。日本在第二期‘海明’号设计中,以开闭气室喷嘴来调整气室内水柱振荡频率,其效率可提高 2.5～3 倍。此外，挪威还研究与来波调谐的可调振荡水柱装置，据称比英国的振荡水柱为优。

在机械一电能转换上，一般是采用空气透平水轮机或液压一发电机系统。对解决出力波动,采用蓄电池、并网等,还试验过用贮气设施。除了常规的发电技术外，近年美国还提出线性感应、压电和质子传导等多种非常规方法,可以减少或取消运动部件,但发出的电量很小,应用在波能转换上还只是处在摇篮时期。

波能除了发电外，还可以直接利用其机械能作功。美国试验一种小型波力淡化海水的装置，波力产生的高压水通过反渗透膜成为淡水。关于波动力船,从 19 世纪末延续到现在，在意大利、美国、前苏联、荷兰、瑞典、挪威等国都有人尝试过。一般是利用波浪起伏作用使浆叶上受到向前推进的力，也有经过气力、波力和电力的转换驱动船舶螺旋浆的。近年的研究在挪威进行,一艘 8.23 米的船在龙骨下装上翼型推进器，在船池成功地做了试验。

4. 海流能

传统利用海流帮助行船。18 世纪富兰克林制作了一幅墨西哥湾流航线图，参照它可使邮船的领航员利用海流的能量缩短从北美到英国的航行时间。近代的卫星技术可以测定不同季节湾流的方向与流速，船只利用它可使行驶速度增加 1 节。太平洋战争时期，据传日本曾利用在黑潮流放木筏自朝鲜半岛输送粮食到本土。有一种直接利用的设想是以黑潮动能提升深层有养分海水，用于海上养殖业，日本很早就有文章提出过。

http://bbs.3s001.com/

最早系统地探讨利用海流能发电是在美国 1974 年召开的专题讨论会上。会议提出了 5 种能量转量机构方案：与河川电站水轮机类似的管道式水轮机，与传统水平轴风力机类似的开式螺旋桨,与垂直轴风力机类似的立式转子,与风速计类似的苏维厄斯转子，适合于低流速的独创的漂流伞式。1975 年起,日本就对利用黑潮动能发电进行着调查研究。

1973 年以来,美国人莫顿等对名为‘科里奥里斯’的一种利用海流的潜没管道式水轮机进行了试验研究。管道效应可以使该式水轮机输出增加。第一个方案实型机组长 110 米,管道出口直径 170 米,在流速 2.3 米／秒时功率为 8.3 万千瓦,安设在水下 30 米深处。对该巨型机组采取了两项创新的设计：采用挠性桨代替刚性桨,以适应不均匀的海流产生的巨大变应力 采用与转子一体的轮圈驱动发电机,桨叶外端嵌入管道轮圈,使桨叶得到充分的支撑。1978 年，在政府财政拨款下进行了转子流体性特性分析，1 米直径的发电模型转子的水槽体弹性试验以及锚和系留结构及机组的动力学分析。这类机组除了大型的外，还设想可采用小型的(如 6 米直径、功率 150～400 千瓦),使用增长导管和轴流水轮机，叶片是刚性的。海流发电方式不须筑坝,而且有机动性,是其长处。

80 年代日本对单点系留三叶片苏维厄斯转子模型进行了水池试验和海上试验。

提出研究的新的海流发电方法还有日本、美国的用磁流体发电原理由海流能直接转换为电能。美国的利用螺旋圆筒产生低压的‘动力坝’,日本的水平轴对称翼型直叶片转轮一气动式等 。

5. 海洋盐度差能

http://bbs.3s001.com/

海洋盐度差能利用研究历史较短。最早在 1939 年,美国人提出利用海水和河水靠渗透压或电位差发电的设想。 1954 年建造并试验了一套根据电位差原理运行的装置，最大输出功率为 15 毫瓦。第一份关于利用渗透压差发电的报告发表于 1973 年。1975 年，以色列人建造并试验了一套渗透法装置，表明其利用的可行性。美国曾在 1975 年、1976 年举行过两次专题讨论会。目前,日本、美国、以色列、瑞典等国均有人进行研究,总的来说，是处在初期研制和试验阶段。

渗透法发电较早的一批设想是利用渗透膜两侧的河水和淡水之间的水位差驱动水轮机发电，但这一工程要在海上建造高达 200 米的拦水建筑，特别是有大面积、长寿命而昂贵的渗透膜及其过流、防蚀、防垢、防砂等问题。后来提出用压力罐保持压差，可以省免大型水工建筑，将水预处理可以避免积垢。 1976 年及以后，以色列和美国研究增加高盐度一侧压力的压力延滞渗透方案以及用太阳能浓缩盐溶液等来降低发电费用。

反渗透法采用阴、阳离子渗透膜相间的浓差电池。它是目前盐度差能利用中最有希望的技术。由于交换膜阻力大、淡水导电率低等，需要大面积而昂贵的膜。美国有两个小组、瑞典有一个小组都在积极从事研究。 1980 年的报道,瑞典设想在西海岸建设一座 20 万千瓦的盐度差能试验电站，它所用的隔膜将有 1 000 吨,表面积相当于 60(千米)^2。

另一种方法是利用一些物质和不同盐度的海水接触产生膨胀或收缩的特性作功。 60 年代有人建造过一台利用骨胶原的试验装置，结果效率不高，骨胶原很快疲劳。

蒸气压法是利用不同盐度的海水的蒸汽压差发电，正如海洋热能转换是利用不同温差的海水的蒸汽压差发电那样。

http://bbs.3s001.com/

年代末，美国人进行实验证明了这一原理。其优点是不需要使用渗透膜。问题之一是海水、淡水的蒸汽压差要随温度而增加，到 70℃才能与海水 12℃ 温差的蒸汽压差相比，因而在有余热、地热可利用的地方才较易实现。

三、海洋能开发的评价

(一)国外海洋能开发的评价和趋向

人类开发海洋能走过漫长的道路。最初是作为明显的自然力直接利用的。随着技术的进步,特别是 19 世纪电机的出现和电力的应用,发电便成为其主题。而且,海洋中比潮和流更为隐蔽的温差能、盐度差能也发掘出来了。不过,和一切开发领域一样，它总是要受到社会经济因素制约的。20 世纪的前期,传统的煤和新兴的石油以其量大价廉垄断了世界能源，刚刚萌芽的海洋能是没有地位的,像 30 年代美国罗斯福总统支持的科布斯库克湾潮汐工程，40 年代法国支持的阿比让温差发电工程，也只得遇难而止,半途而废。 50 年代苏伊士运河停运出现的西欧早期能源危机，促使法国 60 年代兴建朗斯电站。70 年代初西方国家的能源危机,需要寻找替代石油的新能源,海洋能便作为新能源之一提到议程上来，由过去民间经营变为政府拨款。近 10 年各国用在海洋能开发利用上的研究、试验、建设费用总计达数十亿美元,其中温差发电约占 2/3, 潮汐、波浪发电各约占 1/6,参加单位包括国家研究所、高等学校、企业和地方当局等。海洋能利用技术得到迅猛的发展。

70 年代论者强调海洋能量大而可以再生，不像化石燃料迟早要枯竭，并且在地域上超越了陆地有限空间而向广宽的海洋

http://bbs.3s001.com/

扩展，有其长远的意义。根据联合国教科文组织 1981 年的出版物估计数字，5 种海洋能理论上可再生的总量为 766 亿千瓦，技术上允许利用的功率为 64 亿千瓦（约相当于目前世界发电总装机容量），其中盐度差能为 30 亿千瓦，温差能为 20 亿千瓦，波浪能为 10 亿千瓦，海流能为 3 亿千瓦，潮汐能为 1 亿千瓦。特别是海洋作为太阳能的最大蓄能器，温差能是可再生能源中最为稳定的，可以作为电力供应的基本负荷；海流、盐度差能也较稳定；潮汐能虽不断变化，但按周期性规律可以预测。其次，这些能量是“免费的”，更不会像化石燃料那样价格不断上涨。海洋能以‘干净’能源见称，不会像火电、核电那样有酸雨、废料处理等严重污染问题。关于对环境以及社会经济的影响，涉及水文变化、生态平衡、泥沙运动以及航运交通、渔业等方面。其中以港湾、河口开发潮汐能可能出现的问题较多。但是，朗斯电站几十年运行的经验表明，基本上没有产生消极后果。相反，坝上筑了公路，方便交通，并且使旅游业兴旺起来。近年对加拿大芬地湾大型潮汐工程的论证，一般认为其对环境的危害是在允许范围内的。在比较潮电与水电开发的环境影响时值得指出：潮电开发不须占有陆地，相反可以转垦，在大坝意外受损坏时不产生如水电坝那样对下游居民的威胁。

不过，朗斯潮汐电站发电之后 10 年，加拿大才迟迟动工兴建一个规模不大的中间试验电站。而 70 年代掀起的温差、波浪发电研究浪潮，虽然通过实型证明其技术上是可行的，但英、美等主要国家在 80 年代初仍然收缩了战线，放慢了步伐。其根本的因素是估算的海洋能发电投资太高，相应发电费用也高，目前不足与常规电站相竞争。据上述 1981 年的出版物估算，每千瓦电站造价为：温差（25 万千瓦规模）2 400 美元，潮汐（24 万千瓦

http://bbs.3s001.com/

的兰斯电站，当时造价按通货膨胀折算为目前价） 1 000 美元，波浪（10 万千瓦规模）13 000 美元；而作为对比，燃油电站（100 万千瓦规模）500 美元，核电站（110 万千瓦规模） 1 000 美元。关于每千瓦时电费(按 1980 年末日元值)的估算,据 1982 年日本电力中央研究所的调查报告为：温差（10～40 千瓦规模）15～20 日元,潮汐（24 万千瓦的朗斯电站）7.5 日元，波浪（2 000 千瓦规模）30～70 日元，海流（5 000 千瓦规模）40～100 日元,盐差 135 日元 而作为对比,据上述 1981 年的出版物估算,燃油电站(100 万千瓦规模)为 4 美分(约折为 12 日元),核电站（110 万千瓦规模)为 5 美分(约折为 15 日元)。应该看到,由于资源、地理环境、规模、技术方法和社会条件的互异，每种海洋能电站造价和电费的高低幅度是很大的。还应该看到，潮汐、波力供电是变动的，不能作为基荷利用。一般的海洋能都有地域的限制，大量的温差、海流供电要远离大陆，输电要有耗费。

出于对化石燃料不可再生、世界贮量有限的考虑， 70 年代新提出了所谓能量保持理论，赋予能量有点类似钱那样独立的内在价值，在经济核算之外提出能量收支核算。根据 1982 年日本科学技术厅资源调查会的调查报告，对各种海洋能设施在使用期限 20 年内能回收的能量为建设和使用期投入能量的倍数的估算，温差发电（2 500 千瓦机组） 为 3.7，海上式波力发电（1 000 千瓦机组)为 4.5，固定式波力发电（100 千瓦机组） 为 7.6，海流发电（3 000 千瓦机组)为 6.8。这些从赢得能量这一角度，当然优于火力发电（低于 1)。但另一方面,以同等条件估算,中小水力发电（10 000 千瓦机组） 为 29.4，风力发电（100 千瓦机组)为 9.1，海洋能比不上常规能源的水电和可再生能源的风电。

http://bbs.3s001.com/

海洋能利用的经济性所以不如常规能源的原因是：第一，因为它是分散的，能量密度低，一定宽度、面积或体积的海水体所拥有的能量值小：温差（20℃）是低热头，潮差（一般小于 10 米）是低水头，海流（1～2 米／秒）是低速度头。就波浪能来说，即使在世界上波涛汹涌的海，它的波能密度和常规动力站热交换器单位表面积通过的能量差一个数量级。由此带来能量吸收设施庞大，而转换过程要增速、变压或改变工质等以与近代常规发电技术匹配，因而增加转换设施的复杂性。第二，一些海洋能受自然影响波动甚剧，常年没有变化的海洋能是没有的。一些海洋能发电为着吸取可能出现的大能量而不得不把机组容量设计得大 一点，这样在小能量状况时就造成设备利用率的降低，而且还须配备辅助发电设备和蓄能设施，以保证用户供电的需要。第三，处于海洋环境，设置不易，大海中有风、浪、流、潮的动力作用，水下有水压作用，有海水的化学腐蚀作用和海生物滋生附着等等。特别是有特大风暴的作用，海上工程比陆地工程的各种安全系数要大得多。凡此种种，使得造价增大，即使使用的是“免费”燃料，往往也不能弥补过来，使发电费用降到常规电站之下.

70 年代石油价格因素曾促使西方加快海洋能的开发研究，今后仍然是左右海洋能兴衰的一个关键。一般认为，等到石油价格上涨到一定水平后，海洋能发电就有生命力了。但 80 年代现实值得注意的一种动向是，各国海洋能开发逐渐由以获得大陆需用的大量电力（如英国曾设想的每座波力电站装机容量 200 万千瓦，并入大陆电网）为目标转向着眼于偏僻海岛较小量的供电。据悉，日本岛屿的柴油机发电费用为 100 日元／千瓦时以上，英国岛屿柴油机组发电费用为 0.9～0.15 美元／千瓦时，

http://bbs.3s001.com/

因而海洋能发电即使在现在也有可能胜过或接近岛屿柴油机组发电费用。英国报道称，波能装置在世界数千个岛屿上有“数十亿美元的出口市场”，这是英国工业部最近支持波能研究的原因所在。日本‘海明’号发电船第二期计划把‘离岛用电源’列为利用的首位，称日本有346个岛，102万人口，可能利用‘海明’号发电的有220个岛，80万人口，一台‘海明’号发电能力可供600户人家的电力。美国政府选择温差发电试验地点，不在靠近美国本土资源丰富的加勒比海，而在孤悬大洋的夏威夷群岛，也是出于同样的考虑。事实上，夏威夷岛出于本身的需要，对开发新能源最为积极，1979年世界第一台温差发电装置MINI－OTEC号就是地方政府为主建立的。分散的、当地的能源适用于分散的、当地的用户。海岛和海上运输阻隔，化石燃料价格高，而海洋能丰富，在大陆竞争不过常规能源的海洋能发电，因其适应海岛和海上需要，变得经济合理。60年代以来，日本波力装置成功地应用在海上导航浮标上，已是一个佐证。随着现代海洋事业的推进，这种应用在范围上和数量上将会得到推广。例如，第二期“海明”计划所设想的波力发电用在海洋观测浮标和基地、石油钻机作业和鱼礁等。

为改善海洋能利用的经济性，形成了用途多样化的概念。它的利用方式除了发电外，还用来直接淡化海水、取暖、作为直接动力驱动等。针对远离大陆的海洋能电力输送困难，设想用工厂船就地生产能量密集产品，如电解海水得氢、氧以及电解制铝、提铀等。针对出力不稳提出用于没有时间要求的用户或用于海水淡化等。淡水还是开式循环温差发电的副产品。海洋能发电设施的综合利用可以收到多种利益。例如，日、英设计的波力装置可兼作为防波堤；“海明”号第一期试验时发现了船体起

http://bbs.3s001.com/

了鱼礁的作用，海洋温差发电设想提升深层营养海水用于养殖；潮汐电站的水库也可用于水产养殖。

每个国家往往开发本国附近蕴量最大最强的海洋能资源，如美国开发温差能,英、挪、日开发波浪能,法、苏、加、英开发潮汐能,美、日开发海流能。为使能源自给自足,不仰赖国外,开发基本国资源自有其战略意义。此外，工业发达国家也不放弃将其科技成果、工业产品出口，向海外海洋能源丰富的地区发展。例如，日本、法国在远离本土万里之外的太平洋岛屿上搞温差发电。有经济意义的海洋能资源取决于其强度而不是其总量。机组出力与温差成正比，与波高、潮差的平方成正比，与流速的三次方成正比。所以，海洋能开发首先会在日照最强、潮差最大、波涛最汹涌或海流最急的海域进行，使一定造价的机组得以发出更大的电力。除资源因素外，其他自然因素如地理、地形对经济性至关重要。近年有个趋向，即由较多的发展海上漂浮式转而为较多的发展岸式或近岸式，因为岸式虽然能源强度稍逊，但建设和输电费用较省，管理方便。再如，日本为建造岸式波力装置,曾广泛调查了一二十处地址,以求利用更有利的地形 法、加的潮汐电站都利用了河中小岛作为堤坝的一部分。由地形到地物，还出现利用现成工程如防波堤、海上平台安设海洋能装置的设计。

当然，改善经济性的根本出路，在于取得科学和技术上的进展和突破。近百年的海洋能利用发展史是一篇此起彼伏、前仆后继的科学探索、技术革新史。20 世纪克鲁德、约翰森等人对温差发电，吉伯特、伯恩斯坦等人对潮汐发电，益田善雄等人对波浪发电曾付出全力，做出了他们的贡献。

从研究、试验、论证入手,循序渐进。以潮汐能为例,英国自

http://bbs.3s001.com/

1933 年起规划塞文河潮汐电站，进行多次设计，70 年代末期又花了 230 万英镑进行了 3 年的方案论证，断定其技术可行性和经济可能是合理的，但仍然建议继续拨款 2000 万英镑作进一步的论证和初步设计。美国和加拿大自 30 年代以来对芬地湾作过多次调查研究,至 1970 年已花费 230 万美元,加拿大在 70 年代又经两三年的重审，提出了详尽的报告，才决定建设 1.78 万千瓦的安纳波利斯试验电站。法国朗斯电站在动工前也经历十多年的论证和规划设计时间。在波浪能方面，多年来英国和挪威虽然耗用巨资，但主要用在试验室建设和模型试验，最多做到缩尺样机的湖上试验，并未贸然进行海上试验。日本“海明”号试验几乎是世界唯一一次海上大型试验，但它有着小型装置商品化的经验，而且经过理论计算和模型水池试验。在海上试验之后，他们又回到透平等部件研究上去了。美、日海洋热能转换，更是由方案设计、论证、试验室系统试验、部件研究和试验小的实型装置试验等一步步开展下去的。

与其他专业和学科互相渗透，互相借鉴而又有所创新。潮汐发电建筑在传统的水电技术基础上，而朗斯电站首创的灯泡式贯流机组又为水电站所采用。全贯流机组本来用于小型水电站上，由于密封、轴承等关键技术有所突破而造价比灯泡式低廉，现在是潮汐电站优先采用的机型。英国鸭式装置采用了陀螺技术，虽然波力装置研究暂时搁置，但其陀螺研究成果现拟用在电力部门 2 500 千瓦飞轮上。挪威研制的水下透镜聚波装置和点吸能器分别受到光学透镜原理和无线电波天线效应的启发。漂浮式海洋能装置的浮体和锚系可借鉴于船舶和离岸工程技术。岸式海洋能设施可借鉴海岸工程技术。海洋热能转换的热交换器、透平发电机技术可借鉴热力工程。波能的气力转换

http://bbs.3s001.com/

和海流、潮流转换可借鉴风力发电技术。盐差能转换可借鉴海水淡化技术等等。所以说，海洋能利用技术大多建筑在其他常规成熟技术的基础之上。但它又有独特之处，如低热头的热交换、低压头发电、不稳定能量输入等等。海洋温差发电要求设置几百米长的大口径深水管，这在常规工程中是没有的。波能动力转换交变的气流，也是风力机所未遇到过的。善于应用常规成熟技术，创造性地解决海洋能利用中所遇到的特殊技术问题，以至提出新的原理和方法，是世界海洋能领域科技工作者的共同任务。

(二)海洋能源开发的经济性评估

1. 国外关于海洋能源开发的经济性估计

国外在着手研究海洋能源开发技术的同时，很注意其经济可行性的研究。表 18～表 20 是美、法、日等国对各类海洋能开发的经济性分析。表 21 是美国地球物理学家和海洋能源专家 W.R. 施密特 1981 年对一定规模的常规能源和海洋能源发电站的经济性作的估计比较。从表中可看到，海洋能发电站一次性投资大，单位装机造价较高，在经济上还不能与常规能源发电相比。这主要是由于海洋能源密度低，转换装置庞大、技术复杂等造成的。但这也是所有新能源开发的普遍弱点。今后随着现代科学技术的发展及其常规能源燃料的耗竭与燃料费的上涨，海洋能源作为可再生的新能源是有一定竞争力的。

表 18　　美国海流发电费用

230 套涡轮机	基本投资	1 000 美元/千瓦
1 000 万千瓦的规模	电　　费	4.1 美分/千瓦时

http://bbs.3s001.com/

表 19　　法国潮汐发电费用

24 台机组 24 万千瓦的规模	基本投资	400 美元/千瓦
	电　　费	2.2 美分/千瓦时

表 20　　日本海洋热能发电费用

100 万千瓦的规模	基本投资	2 000 美元/千瓦
	电　　费	4 美分/千瓦时

表 21　　各类能源的成本估计比较

	燃油电站	核电站	海洋能电站				
			海流	OTEC	潮汐	盐类	波浪
电站规模(千瓦)	100 万	110 万	8 万	2.5 万	50 万	10 万	10 万
造价(美元/千瓦)	500	1 000	1 300	2 400	3 500	4 000	13 000
电费 (美分/千瓦时)	4	5	7	7	9	10	15

2. 我国海洋能源开发与常规能源开发的经济比较

以开发技术比较成熟的潮汐发电来说，现在上不去的一个主要原因，就是常说的投资大、工期长。建设一座大型潮汐电站,估计每千瓦投资 2 000～4 000 元,而一座大型火电站,每千瓦投资只有 613 元，潮汐电站投资比火电站高 4～6 倍。用可建造 4～6 座火电站的钱，来建造一座潮汐发电站，这显然是不合算的。但是，这仅是一个方面，还应该看到另一方面。潮汐电站用水作能源,建成后无需燃料,而火电站烧煤,建煤矿要投资,运煤要靠铁路运输，还要增加环保设施，这些都是要花钱的。过去这些费用都是记在别的账上，只算火电站本身的建设投资，所以造成一种错觉。据估计，建造一座大型火电站，相应的煤矿投资

http://bbs.3s001.com/

每千瓦约 350 元,铁路投资约 250 元,环保投资约 120 元,这样和电站建设费用加起来，每千瓦投资达 1 300 多元。如果考虑潮汐电站开发技术的改进，成本降低，以及常规能源今后的耗竭与涨价，两者的投资就会相当，甚至潮汐电站可能还要便宜一些。早在 70 年代初国际潮汐能源研究会就指出：“潮汐电站过去用的投资高，但目前由于技术的发展，已完全扭转了这种状况。而常规电站的发展，由于煤短缺和控制污染的附加要求，相反地却大大增加投资。”

讲经济效益，还不能只看投资。海洋能发电有多种综合利用之利,如结合潮汐发电工程,可以同时搞海产品养殖、围垦、灌溉、交通、旅游等等,使收益大为增加,从而也就降低了成本。目前国内潮汐发电的综合利用还没全面搞起来，只是做个别试验，但经济效益已经显示出来了。例如，江厦潮汐电站搞围垦试验，产量达 9 000 千克／公顷 浙江 4 个小型潮汐电站，搞电站水库内贝类养殖,产值 1 500～7 500 元／公顷,最高的达 1.35 万元／公顷。但是火力发电站，可以搞综合利用的项目就很少了。

3. 潮汐发电与水力发电的经济比较

从表 22 来看,我国兴建的小型水电站,每千瓦机组造价和每千瓦投资比潮汐电站要低一些，但是考虑到淹田损失和迁移人口费用(共计 4 000 元以上),那么水电站单位千瓦造价都要比潮汐电站高 2～3 倍。同时，随着开发技术的改进，单位千瓦造价还要降低 10％～20％ ,这将大大加强潮电的竞争力,并提高在能源建设中的地位。如 60 年代建设的新安江水电站装机 66 万千瓦,年发电量 18.6 亿千瓦时,计划移民 24 万多人,淹没土地 2.06 万公顷，而若兴建乐清湾潮汐电站，总装机 55 万千瓦,年发电量 23.4 亿千瓦时，围垦土地 0.7 万公顷，显而易见，

http://bbs.3s001.com/

建设潮汐电站的经济效益是其他常规能源建设无可比拟的。

表 22　　我国小型水电站和潮汐电站经济比较

	河川电站	江　　厦
设计水头(米)	95.5	2.5
转轮直径(米)	2.5	2.5
机组转速(转/分)	250	118/500
单机出力(千瓦)	42 500	500
机组重量(吨)	444	90
机组造价(万元)	340.6	83
单位千瓦机组造价(元/千瓦)	80.1	1 760
装机容量(千瓦)	170 000	3 000
电站总投资(万元)	25 000	712.2
每千瓦投资(元)	1 470	2 347
节省的土地(公顷)	-813	360
每 10^6 千瓦占地数(公顷)	0.5	12
迁移人数(人)	22 000	-10 000
每 10^6 千瓦迁移人数(人)	12.9	-330

http://bbs.3s001.com/

海洋资源的开发利用与可持续发展

海洋资源的开发利用必然会带来一系列的环境问题，要做到人与自然的协调发展，涉及到的根本问题就是资源的可持续利用与环境的健康发展，这就是可持续发展的概念，它具体的定义是“满足当代人的需求，又不损害子孙后代满足需求能力的发展”，即发展不能超越资源与环境的承载能力。要做到可持续发展，生态工程与生态文明是最重要的手段。

一、可持续发展概述

(一)可持续发展的概念

在人类与环境的关系上，人类曾经一味向大自然索取而毫不顾忌环境的反应。当全球规模的资源和环境问题出现以后，以“增长的极限”为代表的悲观主义论调又一度占优势。与此相对,乐观派则得出‘没有极限的增长’的结论,两派展开了激烈的争论。显然，悲观派的“零增长”方案不符合全人类尤其是发展中国家人民的利益，而乐观派根据历史分析得出未来资源与环境不成问题的断言又过于盲目，这两种极端论调已逐渐被摈弃。自世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》中正式提出“持

http://bbs.3s001.com/

续发展”以来，这个概念替代了上述两派的争论而被广泛地接受。持续发展的实质是正确处理人类与环境的关系和人与人的关系，它代表了当代人类在人地关系上的理想，也指出了人地系统优化的新思路，即人类生态系统的持续性。按照种群生态学的思想，人是一种特殊种群，人的种群生态学就是人类生态学。奥德姆在论述人类生态学的前景时指出，人类必须：研究和了解他本身种群的增长型；了解与已知面积的容纳量相关的人类种群的最适大小和结构是怎样的，要加以定量测定；要准备在自然调节不起作用（或没有意义或已为时太晚）的情况下采取“文化调节”。文化调节就是人类社会以经济、技术、政策、法律、伦理道德、价值观等方面的措施，来实现人类生态系统的持续性。可持续发展经历了三个阶段（表 23）。

表 23　　可持续发展的三个阶段

发展阶段	主要标志	出现时间
孕育阶段	IBP	1966～1972
	UNCHE	1972
	MAB	1972
理论准备阶段	WCS	1980
	WCEO	1983
	IPUM	1984
	The Global Possible	1984
	NGO_S CEO	1984
	全球变化(IGBP)	1986
	未来的科学与技术(UNESCO)	1989
从概念到行动	UNCED	1992

一个可持续发展社会的基本特征包括：重视、关心生物社会，提高人类生活质量；保护社会活力与多样性；将不可再生资

http://bbs.3s001.com/

源的消耗减到最小；将发展控制在地球承载范围内；改变个人的态度与行为；使全社会都关心自身的生存环境；为综合发展与保护提供国家框架；产生一个全球性的联合；在上述原理基础上为可持续生存制定新的政策与法律。

(二)人类生态系统的持续性

1. 生产力

人类生态系统的生产力指该系统的人类提供的能源和物质的数量和质量，包括直接为人类利用的部分和不直接为人类利用的部分，后者对人类生态系统的持续发展亦有重要意义。一个持续的人类生态系统应充分发挥其生产潜力，并实现生产力的持续上升。人类生态系统的生产力可以用多种指标度量，如生物量、能量、物质数量、货币价值、为社会服务的某种功能等。不同人类生态系统的生产力对比只有在度量指标一致时才有意义。显然，还必须联系每单位投入的产出来衡量人类生态系统的生产力。投入的形式有土地、劳动、资金、物资、能源等，一个人类生态系统的生产力会因投入形式的差异而大不相同。因此，更合理的指标是相对于一定投入形式的生产率，例如：单位水资源投入的产出，单位能源投入的产出，单位资金投入的产出，单位劳动投入的产出，等等。人口密度大，劳动力充裕而资源相对稀缺的人类生态系统，很可能土地生产率高而劳动生产率低；人烟稀少、土地广阔的系统则相反。

2. 稳定性

人类生态系统的稳定性指该系统生产和结构、功能的一致性和连贯性。持续的人类生态系统，其生产应该长期保护在一定水平上，或在某一水平上下略有波动；而生产大起大落的系统则缺乏稳定性，也不能认为是持续的。显然，系统生产的稳定性

http://bbs.3s001.com/

有赖于系统结构和功能的稳定性。由于系统内外自然、社会、经济诸条件都是动态的,诸如自然要素、人口、价格、政策等都会有正常波动，其生产力亦难免有所波动，稳定性要根据系统生产围绕某一长期平均水平或长期趋势的波动来评价。既然生产力可以用多种指标度量，那么稳定性也可以是多维的。一定人类生态系统用某种生产力指标衡量可能是稳定的，而用另一种指标衡量则可能欠稳定。例如：某系统实物产量是稳定的，但由于市场价格变化，用货币价值来衡量则是不稳定的。持续的人类生态系统要求通过科学调控，把这种波动控制在正常范围以内。

3. 恢复力

人类生态系统的恢复力是指该系统对抗内外压力和变迁而保持生产力和功能的能力。这里所说的压力和变迁（如人口的不断增长、某种资源的耗竭趋势、自然灾害等）与稳定性所涉及的各种要素的正常波动是不同的概念。一个系统的持久性是靠系统本身的调控能力实现的。结构和功能越是多样的系统，其调控能力越强，因而具有较强的恢复力。在内外压力和变迁之下，系统生产趋于下降；但依靠科学技术，通过加强经营管理和增加投入等，系统能够抵消压力和变迁的影响或消除压力和扭转变迁趋势而把生产恢复到正常水平，这样的人类生态系统才是持续的。反之，若在巨大压力和不可逆变迁之下，系统生产一蹶不振乃至‘崩溃”,则无持续性可言。可见,恢复力也是联系生产力来度量的，因而同样可用多种指标，而依据不同的指标也就有不同的恢复力表现。无论用哪种指标衡量，持续的人地系统都应该避免出现崩溃的状况，或出现不可逆的后果。

4. 公平性

人类生态系统的公平性指资源和资源开发利用的收益是否

http://bbs.3s001.com/

公正而平等地分配。若大多数人获得中等收益，获得低收益和高收益的人都占少数，则该系统具有相对公平性；而如果大多数人都只能获得低收益，少数人获得高收益，则该系统是不公平的。如前所述，公平性还包括代际公平。我们今天正在开发利用的自然资源和自然环境，也是今后世世代代赖以生存的基础，如果过度开发或不合理地利用而损害了后代利用同一资源和环境的权利，那么这样的系统是不公平的。

5. 自立性

人类生态系统的自立性指该系统自我供给、自我完善、自我调节、自我恢复能力。自立性是由系统内各组成部分之间的物质、能量和信息的运动，进出系统的物质能量流和信息流及对这些运动控制反映的。过多地依赖外部物质、能量和信息投入维持运转的系统缺乏自立性。很多外部投入是不可靠的或代价昂贵的，一旦有变就会危及系统的正常运转。因此，一个持续的人类生态系统应该有较高的自立性。

6. 协调性

这里的协调性是指人类生态系统内的人类需求（主要由人口数量与人均消费水平决定）与环境容量（包括资源承载能力与环境缓冲能力)相适应。人类需求是不断增长的，“理想”的增长应符合种群增长的逻辑斯蒂型，即一个种群会逐渐增长到接近系统的环境容量极限，此时种群数量稳定在一定水平上，曲线呈S形。之所以如此，是因为若干限制因素（或环境阻抗）不允许种群按自身的生物潜力曲线增长。若无此类因素，任何生物的的增长潜力曲线都会呈J形，产生出可怕的指数增长。当然，有些种群的数量不一定静态地稳定在某一水平上，而是围绕系统承载能力有所波动；还有些种群可能超越系统承载力，然后必定

http://bbs.3s001.com/

会面临死亡率增加和出生率下降的局面，于是种群数量“崩溃”到承载力水平以下。根据这个原理，必须把人口数量和人均消费控制在环境容量之下，才谈得上人与环境的协调，人类生态系统才能具备持续性。当然，另一方面也应强调发挥人的主观能动性去扩展环境容量。

(三)实现人类生态系统持续性的途径

1. 把人类需求控制在环境容量之下

人类是有智慧的物种，除了有生物性外，更有复杂的社会性，人口控制与一般物种控制的机制既有联系又有本质区别。从理论上讲，人口增长总会有一个不可超越的承载能力上限，虽然这个上限并不是绝对不变的。人类应该主动地调节自己的种群增长以适应资源承载和环境缓冲能力，而不是被动地受环境容量的限制。

由于人的生态幅较宽，人类社会的弹性较强，因而人类过度利用资源或超越系统承载能力的效应有一定的滞后。也就是说，人口密度和数量在开始感觉到有害效应时，已超越了环境容量的限度。对此，人类可以有两种基本选择：其一，人类增长继续不加控制，直到超过系统的承载能力，然后人类将面临深刻的灾难,乃至‘崩溃”,事实上,地球上已有部分地区已经历过或正在经历这种过程；其二，人类自觉地深入认识资源基础的承载力限度，建立人口控制机制，降低出生率，适度消费，合理利用资源，保护资源基础和环境，提高资源承载能力，使人口数量稳定在临界限度（乃至最适承载能力）之下。

显然，人类应避免第一种情况，而要努力走第二条道路。当然，承载能力是一个非常复杂的动态问题，它除了取决于系统本身的自然潜力外，也受人类行为的影响，如投入水平、人均生活

http://bbs.3s001.com/

水准以及科学技术的作用等。人类历史上由于技术的发展一再开拓着自然资源利用的广度和深度，它仍将在未来缓解资源限制方面起重要作用。但仅仅依靠科学技术是不够的，人类还必须采取经济、政治、法律、道德等措施。

2. 自然资源的社会化再生产—— 资源与环保产业

自然资源的承载能力是环境容量的最重要方面，它除了取决于科技、物质和能量等的投入外，还依靠其本身的保护和再生产。自然资源的再生产过程，是自然再生产过程和社会再生产过程的结合。在现代社会化大生产的情况下，在人口激增不断加大对自然资源的压力、经济持续增长日益扩大对资源的需求以致引起资源枯竭、生态环境恶化的形势下，单纯依靠自然资源的自然再生产已远远不能解决自然资源短缺的矛盾，必须强化社会再生产，即通过增加社会投入来扩大自然资源的再生产，提高自然资源的生产力、稳定性和持久性，扩展环境容量，以满足今世和后代经济社会发展对自然资源日益加大的需求。为此，一些学者提出了资源产业的概念。

资源产业就是通过社会投入进行勘测、调查、管理、保护、恢复、再生、更新、增殖和积累自然资源的生产事业。它是原料产业的前身。资源产业的提出，是人类社会发展进程中不断调整人与环境冲突的必然需要。在狩猎一采集社会，人依附于自然环境，直接以自然界的产物为生，也无所谓产业。随着人口增加和人类需求扩展，与天然生态系统的承载力发生了冲突，于是出现农业生产以协调人地关系；农业社会后期又产生新的人地矛盾，传统农业生态系统的生产力又一次落后于人类需求的发展，解决办法是大机器生产和化石能源的使用，于是出现工业；当代社会的人地冲突表现为人口爆炸、资源枯竭、环境恶化威胁，必

http://bbs.3s001.com/

须寻求新的途径加以协调，以资源产业加强资源基础显然是其中的重要方面。新能源新材料技术、生物技术、信息技术、太空技术、海洋技术、环境保护技术等都将产业化，从而大大加强自然资源的社会化大生产，大大增进人类生态系统的生产力，大大扩展人类社会的环境容量。

3. 建立自然资源供求平衡的经济机制—— 自然资源和环境的价值与价格问题

一般商品的供给与需求受供求定律的支配，自然资源和环境的利用作为一种经济活动也不例外。尽管自然资源和环境具有区别于其他商品和生产要素的特点，仍可用这一基本经济机制来平衡其供给与需求的矛盾，即使用价格杠杆来控制人类需求和扩大资源供给(发展资源产业)，从而达到人类与自然关系的协调与持续。因此，自然资源和环境供需平衡的关键在于价格，在于收取资源和环境使用费。价格在平衡供需矛盾中的作用与一般商品的情形又有所不同。

首先，一般商品的供给量和需求量都处在经常变动之中，供给和需求的共同运动达到均衡，从而决定了价格。但很多自然资源(如土地)的供给量通常不易变动，其自然供给绝对固定，其经济供给虽可变动但很受限制。因此，自然资源的价格常常是由需求单方的运动决定的，需求越大，价格越高。反过来看，一般商品的供需矛盾可以通过扩大供给和约束需求两条途径来解决；而解决自然资源和环境的供需矛盾更强调以价格机制约束需求，至少在自然资源的社会化大生产沿未实现以前是如此。

第二，一般商品的价格通常以生产成本为基础，任何一种商品的供给价格决不能低于其生产成本，否则生产者势必停止生产或减少产量，直至产生求大于供的形势，迫使价格上升。而自

http://bbs.3s001.com/

然资源和环境则主要是自然的产物，其自然再生产部分没有“生产成本”，自然资源和环境的价格应以其价值为基础。

第三，一般财物都有折旧的情形，故其将来的价值总是低于现值。但不可更新资源会越来越稀缺，可更新资源具有生产能力的持续性，所处的社会经济条件还总会不断改善，因而不会折旧反会增值；同时人们对自然资源的需求日益增长，更使自然资源和环境的将来价值常比现价为高，其价值是看涨的。

第四，一般商品都有统一的市场价格，也可通过价格来竞争市场。而有些自然资源（如土地）因其位置固定，功能又不可替代，其价格在当地更具垄断性而较少竞争性，而垄断性价格可以更严格地控制需求。

总之，通过足够高的价格来约束对自然资源和环境的需求，从而达到供需平衡，这是协调人地关系的一条重要途径。但现行的各种经济体制中，对自然资源和环境的价格都没有作明确、完备的规定。于是自然资源可以无偿利用和占有，导致对自然资源的需求无约束地膨胀。其结果是自然资源被掠夺性的开发,造成不必要的破坏和浪费,以至资源枯竭,生态破坏,环境恶化，成为威胁人类生态系统持续性的一大祸害。因此，解决自然资源问题和生态环境问题的根本性对策之一就是要确立自然资源和环境的价值观，其价值首先源于其对人类的有用性，价值的大小则取决于它本身的质量、稀缺性和开发利用条件。

4. 弥补市场机制的缺陷——政府干预与公众参与

建立自然资源和环境的价值和价格是为了引入市场机制以平衡供给和需求的矛盾，但市场机制又是不完备的，市场本身并不能自发地建立起自然资源和环境的价值和价格，必须以法律、法规的形式作出强制性的规定。而立法应经过民主程序，其实

http://bbs.3s001.com/

施也需舆论监督，这就是公众参与。执法则通过政府的行为和管理实现，这就是政府干预。其途径有四种：第一，使有害活动非法,通过有关法律法规,限制有害活动,制定资源开发标准,要求保护某些资源，用经济、行政等手段强制执行这些法律法规，违者罚款；第二，惩罚有害活动，对排入大气或水体中的每一单位污染和不必要的每一单位资源耗损征税；第三，建立污染权和资源利用权市场，出售可允许污染到预计最适水平的权利，以及对公共土地或其他公共资源开发使用到一定程度的权利，使这些权利商品化,以市场机制加以约束 第四,奖励有益活动,以税收来鼓励或补贴安装了污染控制设备的企业和个人，奖励那些通过资源重复利用和循环利用，通过发明更有效的加工工艺和设施而减少了不必要的资源浪费和耗损的单位和个人。

二、可持续发展的理论基础

(一)生态文明——人与自然持续发展的需要

“持续发展”是目前人类生存和发展讨论中的主题。各国政府对此日益重视。如何解决这一全球性问题，要求自然科学与社会科学的协同配合。这里从人类文明发展的角度来阐述为什么要持续发展。

1. 生态文明是人类文明发展的必然结果

“文明”是表征一个社会物质同精神风貌的综合指标，从人与自然的关系看，人类的文明大致可以划分为三种形态：原始文明、工业文明和现代文明(生态文明)。

在人类诞生之初，由于科学技术发展水平低，人类改造自然的能力有限，人类没有正确认识到自身在大自然中的正确位置，

http://bbs.3s001.com/

人们在大自然面前感到无能为力，人类是大自然的奴隶，面对大自然，人类充满了神秘感和恐惧感。世界各地早期的原始文明无不带有宗教迷信色彩。因此，在人一自然关系系统中，后者居于主导地位。

近代随着科学技术突飞猛进的发展，人类改造自然的能力大大提高，人类在改造自然的时候，创造了比以往任何时代都巨大的物质财富，大自然仿佛是一座取之不尽、用之不竭的巨大仓库，人类似乎成了自然的主宰。在人一自然系统中，人们认为人类是中心，自然是为人类服务的。因此，人类盲目地改造自然、征服自然，正是在这一点上，近代工业文明给今天的人类带来空前的危机，而生态危机是人类面临的危机之一。生态问题是当代最主要的全球问题，环境污染和生态破坏使人类的生存和发展面临着严重的挑战，被称为“人类的困境”（罗马俱乐部语）。人类已逐渐认识到人和大自然是一个协调统一的整体，如何才能使人和自然协调发展，是当代的主题。现代生态学正是在人类由于盲目地改造自然、征服自然而面临生态困境的时候，日益渗透到人与自然和谐发展这一主题的。弗·达夫斯雷特认为，“把人和自然界相互作用的演变作为统一课题来研究，才开始找到生态学的真正归宿”的生态思维方法，已渗透到自然、社会诸领域 生态经济学、生态工程学、生态工艺学的应用，正为创造生态物质文明奠定了基础；人们已发现并认识了生态价值和生态美学 生态伦理学也日益受到重视，如施韦兹的《文明的哲学 文化与伦理学》、莱奥波尔德的《大地伦理学》等著作，从人一自然整体的角度出发赋于自然界本身与人平等的权利。所有这些工作，已为生态文明的到来打下了基础。生态文明的日益成熟，必将解决人类及其环境持续发展这一重大问题。

http://bbs.3s001.com/

2. 生态文明的概念及内容

生态文明是以人与自然和谐、协调发展为特征的文明，是指自然界权利受到充分尊重的文明，包括生态物质文明和生态精神文明两个方面。生态物质文明是指充分体现人一自然系统和谐发展的一切物质基础。而生态精神文明是指自然界权利受到充分尊重的生态意识渗透于精神文明诸领域的一种全新的精神文明观。

生态经济学和生态工程学的出现，使生态物质文明建设成为可能。一个时代物质文明的发达程度的主要标志是当时的生产力发展水平。在文明的不同发展阶段中，对这一标准的认识是不一样的。在近代的文明中，人们把人类向自然索取的能力当作生产力发达与否的标志，其直接后果是导致了过度破坏生态环境所引起的生存危机，它影响到人类的生存和未来。直到今天，人们才意识到生产力的发展首先必须以经济一自然一社会这一复合系统的协调发展为基础，不能只从消费者的立场看待自然界，把自然资源当作单纯索取的仓库，而且要充分认识到自然界有重要的调节功能，这种调节自然系统正常运转的功能是至关重要的。人与自然的关系不只是利用，而且包含建设，衡量生态物质文明的标准正是使这一复合系统高效、和谐、协调发展的建设能力。生态经济学和生态工程学的出现，使这种协调成为可能。生态经济学将人类的经济利益和生态利益协调起来，将人类的经济活动纳入生态平衡的轨道，使人类单纯向自然的索取变为协调发展。而生态工程学则提供了这种协调发展的手段和方式。生态技术和生态工艺是生态工程学的重要内容，直接服务于上述目标。生态技术作为一门新兴的技术，直接将生态学的基本原理应用到处理实际问题上，包括不同类型生态

http://bbs.3s001.com/

系统的恢复、保护、生产和管理的建设程序，包括区划一规划一设计一实施一运行管理一监测预警系统在内的一系列步骤。而生态工艺则主要强调了生产过程中物质和能量的循环利用，即以无废料的生产过程来建设人类生产和生活装置，以整体最优化形式实现无废料生产，使我们的工业生产和消费过程与环境系统协调运转。生态技术和生态工艺在生产领域当中的应用，使得在保护环境的前提下，充分利用自然资源，加快经济发展，并使这种发展以整体最优化的形式能够持续下去，使人类一自然一经济这一复合系统能得到持续稳定的发展，从而为生态物质文明打下坚实基础。

一个时代的精神文明的发展程度取决于当时物质文明的发展程度，衡量一个时代精神文明发达程度的主要标志是人们当时的价值观、道德观和审美意识等。

人和自然的关系不只是利用，而且包含着建设，这样，保护环境、保护生态平衡就成为社会发展的最重要的价值前提。从这样的人类目标和价值观念出发,产生了对森林、草地、水源、土地等各种自然资源的新的观念，产生了对生产和生活的新的态度。人类活动与利用自然、开发自然和保护整治自然统一起来，在从事经济建设的同时，考虑自然界的未来，规划自然界的发展，建设自然界。这样，协调人与自然的和谐发展成为人的责任和崇高的使命，这就是人类的新的价值观念—— 生态价值观念。它是生态精神文明的一个重要组成部分。现代社会已普遍认识到破坏和污染环境是一种不道德的行为，而保护环境是一种新社会风尚，将保护环境列为新的道德规范，充分发挥伦理道德功能对破坏和污染环境的行为加以调节，这是现在伦理学研究的一个重要进展。生态伦理学的科学特征是把道德对象和道德共

http://bbs.3s001.com/

同体的范围从人与人关系的领域扩大到人与自然关系的领域，并且以人与自然协调发展和共同进化作为道德目标，从而赋予自然界以生存的道德价值，道德权利概念扩大到自然界的实体和过程。生态道德日益成为一种社会文明程度的象征，成为生态文明的一个显著标志。生态意识向美学意识渗透，越来越多的美学家强调以生态观点保护自然界的美丽，将人类和大自然和谐发展作为一种审美的最高境界，生态美学意识将会成为生态精神文明的又一个显著标志。

综上所述，生态文明的核心和灵魂就是人与自然的和谐发展。生态物质文明和生态精神文明是生态文明的两个相辅相成的方面。

3　生态文明在持续发展中的地位和作用

人与自然持续发展是当前人类面临的重大问题。提倡与促进生态文明的建设为我们提供了崭新的思路。生态物质文明的建设是持续发展的基础，只有不断加强生态物质文明的建设，才能使持续发展这一主题得以实现。在加强生态物质文明建设的同时，广泛开展生态文明建设，以使生态文明这两个方面互相促进，互相协调。因此，加强生态文明建设是解决持续发展的基本途径，生态文明的任务正是以持续发展为目标。

4. 加强生态文明建设的途径

为了迎接未来的挑战，解决目前我们面临的生存危机，使人一自然系统和谐、协调、持续发展，我们应当加强生态文明的建设，要从战略和战术上为生态文明的繁荣创造条件。

从战略上，要根据生态规律的要求，建立和协调自然一社会一人这一复合系统，而将重点放在环境建设上。

(1) 把社会、经济、生态环境作为一个复合系统，以整体协

http://bbs.3s001.com/

调和发展为前提，明确在发展中有控制、在控制中有发展的积极的辩证统一观。

（2）生态建设在战略上保证经济建设、城市建设和生态环境建设同步规划、同步实施、同步发展，实现社会、经济和生态环境效益三统一，充分运用生态经济学原理，系统地、有重点有步骤地协调整体与局部的关系，运用生态技术、生态工艺等手段来完成上述目标，为生态文明建设创造良好的物质基础。在战术上，逐渐完善生态物质文明建设的方法论，包括制定为指导经济建设和生态环境保护进行系统多目标优化调控，提供宏观决策和管理的生态技术的基本理论、方法和原则，以及提供新的生态工艺方法为合理利用自然资源开辟新途径。在加强上述生态物质文明建设的同时，应同步加强生态精神文明的建设。从提高全民族的生态意识入手，增强人们的生态价值观和生态美学意识，大力提倡生态伦理学，使之成为一门工作哲学，制定相应的生态伦理准则，使人们能够充分认识并尊重自然界的基本权利，认识自然界的多重价值，并在工作中切实贯彻执行这种新的伦理道德准则。

（3）实施生态工程，实现可持续发展。生态工程是人类认识和改造世界的一种系统方法，将社会经济与其自然环境综合在一起，并达到两方面效益相统一的可持续生态系统的规划、设计与管理的系统科学方法与组合技术手段。因此，生态工程必须与生态和社会文化条件相结合。它以生态学原理为基础，实施一系列软硬结合的工程技术手段和系统评价规划、设计、建设与管理，在生态系统范围内实现功能优化，结构和谐、过程高效，促进系统的可持续发展。它是生态科学的合理扩展。

生态工程的基本特征有：具有在系统工程领域相联系的多

http://bbs.3s001.com/

元成分与多重目的 具有整体性、协调性、循环与自主特征 其经济效益、生态效益和社会效益较协调；具有多学科相结合的特征；不同的生产部门或系统的不同组成单元之间协调发展；具有鲜明的伦理学特征。

生态工程的发展和可持续发展概念的发展几乎是同步的，事实证明，生态工程是可持续发展的重要手段。生态文明是人类文明发展史上崭新的文明形态，为了迎接未来的挑战，应当踏踏实实地做好准备工作。我们的未来取决于现在的认识和行动。

(二)人类生态位的扩充与可持续发展

人口增长是人类面临的最严重问题。世界人口已经从 1950 年的 25.2 亿增长到 1993 年的 55.7 亿，并且预测到 2050 年世界人口将达到近 100 亿。人口的剧增和人类影响环境能力的不断增强，使资源和环境问题变得越来越突出。人类活动所造成的各种环境问题，已经威胁到地球生命支持系统的可持续性。生态学的研究取得了巨大的成就，但是，目前的研究成果还不足以解决人类所面临的各种问题从而摆脱生物圈所面临的困境。世界人口数量的剧增、森林减少、水资源匮乏、环境污染加剧、耕地减少、能源紧张、粮食短缺、贫富差距的加大、物种减少、灾害频繁、全球气候变化等等，并没有随着现代文明的发展而消除，相反，这些问题变得日益尖锐和复杂。生命系统在不断地变化着，而且对环境产生越来越显著的影响，制约着人类的进步与发展，使环境与发展问题成为当今国际社会普遍关注的中心议题，同时也给生态学的发展带来了新的挑战和机遇。

1. 人类生态位的扩充

生态位扩充是指由于生物单元无限增长的潜力所引起态和

http://bbs.3s001.com/

势的增加。人类生态位的扩充则是指人类社会的发展状态和对环境的影响或支配能力（即态和势）相对于生物圈中其他生物种类的态和势的提高。下面从不同方面论述人类生态位的扩充。

（1）人口态势不断提高　世界人口正以前所未有的速率增长。从公元前 4000 年到公元 1000 年的漫长时间里，世界人口的增长是非常缓慢的，在公元 1000 年时，世界人口总数估计不超过 5 亿，至 1750 年世界人口约 7.8 亿，即经历 750 年的时间，世界人口只增长了 56%，平均年增长 0.075%，至 1950 年世界人口达到 25.2 亿，200 年间世界人口增长了 223%，平均年增长 1.115%，到 1975 年为 40 亿，25 年增长了 58.7%，平均每年增长 2.35%。仅仅 12 年以后，世界人口就达到了 50 亿，增长了 25%，平均年增长率 2.08%，而 60、70 和 80 亿人口的到来将分别只需 11～12 年的时间。据合理的估算，到 2050 年世界人口将达到 100 亿。世界人口将在相当长的时间内保持较高增长势头。

（2）经济发展和生活水平的提高引起资源消耗量和消耗速率增加　随着人口的增加、经济和科学技术的发展，人类占用地球上的资源不断增长。同时，随着生活水平的提高，人均资源消费量也不断的增长，使世界资源消耗量和消耗速率明显增加。1961～1990 年的 30 年间，世界主要食物和原材料等的年消费量明显增加。如世界牛肉消费量增加了 70%，发达国家的人均消费量是发展中国家的 6 倍多；全球原木消费量将近翻了一番，人均原木消费量发达国家是发展中国家的 2.5 倍左右 世界范围的化石燃料消耗量翻了一番多，总消费量发达国家占世界总消费量的 48%，而发展中国家则只占 28%；主要金属原料的消耗量也有相似的变化趋势。

http://bbs.3s001.com/

(3) 人类占据和影响的空间范围不断扩大　随着人类社会的发展，人类占据的空间范围越来越大，从人类历史发展的四个阶段，即前发展阶段、低发展阶段、高发展阶段到持续发展阶段来看，涉及的空间尺度相应地从个体或部落范围、区域或国家范围、国家或洲际范围到洲际或全球范围不断扩大。在工业革命至今的几百年的时间里，人类实现了美洲大陆、澳洲大陆等新大陆的发现和开发，实现了南北极考察，登上了世界最高峰和实现了海底探险，人类的足迹几乎遍布全球，并且实现了太空旅行。目前的信息革命和高新技术的发展，使人类社会的发展出现了前所未有的局面。世界范围的城市化加速，使人类占据更大的生存空间。1965～1995 年的 30 年间，世界城市人口占总人口的百分数从 35.5% 增加到 45.2%，同时，乡村人口也以 1.3% 的平均年增长速率增长。城市化的加速，农村居住面积的增大，农田、牧场、道路、高层建筑和其他人工设施的增加，使人类相对于其他生物占据更大的生存空间。

(4) 人类对环境的影响和支配能力越来越强　人类活动在不断地改变着地球环境，随着人口的增长和科技水平的提高，人类对环境的影响和支配能力越来越强，主要表现在：

第一，人类对生境的改变。人们砍伐森林或其他自然植被后，开辟农田、道路、乡村、城市等，使地球景观发生了深刻的变化。随着人类居住面积的扩大，林地被砍伐变成了农田，湿地被排干，草地变成了灌溉农田。全球生境最显著的变化是农田的增加和森林的减少。据估计，1700～1980 年，全球林地减少了 5.1×10^{9}～6.2×10^{9} 公顷，约占全球森林面积的 20%，而农田则从 2.7×10^{8} 公顷增加到 1.5×10^{9} 公顷，增加了 460%。农田的扩大普遍伴随着生产力的提高和土地利用强度的增加，化肥、

http://bbs.3s001.com/

农药、杀虫剂和现代农用机械的广泛使用，在提高生产力的同时也引起了生境更深刻的变化。近年来，发展中国家人口的剧增对基本农产品(如薪材)的需求增加,约有 20 亿人依靠薪材取暖和做饭，在许多发展中国家，需求远远超过供给，造成了森林的严重破坏。随着世界农产品市场的发展,对棉花、茶叶、香蕉、咖啡、糖和牛肉需求量不断增加，更加速了森林面积的减少。人为活动的结果导致了自然生境的不断减少和人工生境的大量增加.

第二，土壤退化和侵蚀。全球农业开发对土壤造成了极大的损害。土壤生产力依赖于有机质的含量。据估计，由于农业活动导致土壤有机质中的有机碳的供应较农业耕作前降低了 15% 左右。自第二次世界大战以来，全球大约有 1.2×10^9 公顷,即 10.5% 的有植被土地面积（相当于中国和印度国土面积的总和）由于人类活动遭受中度以上的土壤退化。就全球而言，引起土壤退化的主要原因是过度放牧、毁林和农业活动，而这些都与人类活动密切相关。

第三，环境污染。人口的增加、经济的增长、福利的提高和社会的发展，其直接的代价是资源的消耗和环境的恶化。人类活动造成的各种环境污染是引起环境恶化的直接原因。人类垃圾的处理直接影响淡水资源的质量。由于饮用水的污染所传播的各种疾病(如腹泻、伤寒、霍乱)在 19 世纪末和 20 世纪初是欧洲和北美最严重的致死和致病原因。纽约市的例子可以表明人口增长对污染的影响：1880～1980 年,市区人口从 300 万增加到 1520 万，而人类废水所携带的有机碳、氮和磷与人口数量增加直接相关。人类向大气中排放的污染物质带来的气候变化、大气臭氧层的破坏、酸雨和污染物的越界输送越来越引起人们

http://bbs.3s001.com/

的担忧。大气中二氧化碳、一氧化二氮、甲烷、臭氧、氟氯烃等大量增加，引起了全球变暖。人为排放的主要温室气体（二氧化碳)和污染气体(二氧化硫)的排放量的增长非常明显,由此带来的环境问题目前还很难全面评价，但是，这些污染物质对环境影响将越来越显著是毋庸质疑的。

第四，人类保护和改善环境的能力不断增强。人类活动对环境的影响既有消极的一面又有积极的一面。人类大规模的生态工程建设、治理污染、植树造林、防治荒漠化、绿化环境以及其他有利的各种活动则促进了环境改善。人类社会生产力和科技发展，极大地提高了治理环境和抵御各种自然灾害的能力，并将随着科技和生产力水平的提高而不断增强。

第五，人类认识领域不断扩展，科学和技术水平不断提高。随着科学技术的不断发展，人类对自然界的认识在微观和宏观尺度上不断扩展。现代物理学的发展使人类对物质世界的微观结构和运动规律的了解不断深入。在宏观研究方面，由于航空航天技术和天文望远技术的发展，使人们能够了解的空间范围不断扩大。在生物学研究方面，生物技术的发展使人类更加深入地了解生命的奥秘，并逐渐成为人类社会摆脱环境与发展困境的杠杆。由于生态学和环境科学的发展，使人类重新认识人与自然的关系，并将在可持续发展的基础上促进人类社会向更高态势飞跃。新材料、新技术将改变传统的产业和减少对地球环境产生不利影响。环境资源的不断开发，使人类占据的环境资源谱更宽广。科学技术是推动人类社会发展的动力，历史和现实已经证明了这一点。

2. 可持续发展与容纳量

人类生态位的扩充，一方面带来了人口、粮食、资源、能源、

http://bbs.3s001.com/

环境等问题，另一方面也提高了人类与自然相协调的能力。不断增长的世界人口及其经济发展活动威胁着地球环境的同化能力并使生物圈发生了不可逆的变化。人类的生态位在消耗其他种类的同时得到了扩充，这种扩充以占用大量的光合产物为特征。人类不仅以消耗其他生命为代价占用地球上的资源，而且也占用了人类未来世界的经济和环境资源。由于在人类得到发展的同时给生命圈的生命支持系统带来了不利的影响，甚至造成了资源的枯竭和环境的破坏，面对这种不利影响的威胁，人们越来越关心生物圈的可持续性的问题。

可持续发展的概念最早是在 1980 年发表的世界自然资源保护大纲(WCS)中系统阐述的：“要使目前这一代人得到最大的持久利益,又要保持其潜力,以满足后代的需要和愿望。”这一概念得到了广泛的接受和认可，并在 1992 年联合国环境与发展大会上取得了共识。可持续发展的核心是实现人类社会的持续发展，提高人类的生活质量，并且不超越资源与环境的容纳量，保护地球的生命力和生物多样性。因此，可持续发展的关键问题是人类社会能否实现持续发展，生物圈的环境资源容纳量是否有极限。

人类社会能否实现持续发展？人类社会发展的历史表明，尽管有时人类社会的发展会受到自然或人类社会本身的限制，甚至在一定时期内出现衰退，但是，总的趋势是不断发展进化的，人类社会的物质文明和精神文明在不断地提高，人类的需求和愿望得到了更大的满足。迄今为止，可以说人类社会实现了持续发展。那么，将来是否还会继续实现持续发展？回答应当是肯定的。但是，总体上的可持续不等于局部、特定资源和个体的可持续，相反，特定的资源、区域和生物个体则可能是不可持

http://bbs.3s001.com/

续的。

容纳量是从任何有机体只能在一定的物理条件范围内生存的观念中派生出来的。植物和动物需要具有一定的能量和关键的原料，一定的温度范围和只能在特定浓度的化学物质中存活。适合生物生存条件的可利用性决定了该环境中能够生存的有机体的数量。在人类生态学中，容纳量是指在复杂的物理、机构、社会和心理等因素相互作用基础上最佳发展的种群数量水平。

由于人类生态位不断扩充对环境产生的不利影响所导致全球困境，使人类再一次遇到了环境资源容纳量的限制，可持续发展的思想正是在这种背景下产生和发展起来的。可持续发展的概念与环境资源容纳量密切相关，一般认为可持续发展应当是在“满足当代人需要的同时，不损害人类后代满足其需要的能力”;“在不超出维持生态系统容纳量的生存情况下,改进人类的生活质量”，其核心是在实现人类不断增长的发展愿望的同时，不超过生物圈容纳量。

伴随着人类社会的发展，人类的生态位不断扩充。人类生态位的扩充对环境产生了双重影响，一方面，人类社会的发展必然以消耗其他生物与环境资源为代价，造成环境的退化；另一方面，人类在不断扩充其本身的生态位的同时主动地扩充环境资源的‘容纳量’,并不总是被动地受‘容纳量’的限制。

一般把特定环境中某生物单元可能达到的最大数量视为其容纳量，在种群增长模型中假定为常数。实际上，容纳量是一个变量，而不是常数。人类生态位的扩充经常导致环境资源的过度利用甚至枯竭，在一定意义上来说，这是不可避免的，并时常出现超过容纳量的情形。这主要是因为相对于其他生物来说，人类占据了过大的生态位，具有相对高的态和势。同时,人类社

http://bbs.3s001.com/

会的发展又是通过不断地提高环境资源容纳量来实现的。人类环境资源的容纳量与自然环境资源、人类对环境资源的影响、科学技术水平、人口数量、人均资源消费量、农业生产的效率、环境资源利用的效率以及环境资源分配的合理性等密切相关。而且科学技术的发展对容纳量的影响越来越显著，因为科学技术的每一次飞跃都极大地提高了容纳量。因此，大力发展科学技术、增加对农业的投入、植树造林、改善自然生态环境、采用低污染生产技术、改善医疗条件、提高生产效率、促进资源的合理开发分配与利用、控制人口数量、提高人口质量等，都有助于提高生物圈的容纳量。相反，人口过度增长、植被破坏、土地退化、资源不合理开发与分配、环境污染等，则是降低生物圈容纳量的主要因素。因此，可持续发展应当是：促进生物圈容纳量不断提高，控制人类生态位扩充的速度，摆正人类在生物圈中的位置，尽量避免对环境的不利影响的发展。

人类生态位的扩充对生物圈造成了前所未有的危害，正是这种不利的影响，威胁到了生物圈的可持续性。可持续发展的核心是人类社会的可持续发展，应当通过调整人类生态位扩充的速度、摆正人类在生物圈中的位置、尽量避免对环境的不良影响、促进生物圈容纳量不断提高来实现可持续发展。

(三)生物增长的环境容量与人类发展的环境容量

环境容量概念源于比利时数学生物学家弗胡斯特于 1838 年提出的逻辑斯谛方程式，当时不为人所重视。后经美国人口学家柏尔及里德再度提出而逐渐成为生态学描述生物与环境相互关系的重要方法。它表示生物总数增长可资利用的环境条件及其限度。在弗胡斯特得到逻辑斯谛方程 130 年之后的 1968 年，美国学者麦都斯等人设计出“世界模型”研究人类发展及其

http://bbs.3s001.com/

遭遇的环境阻力,尔后发表的研究报告题名为《增长的极限》,其含义与环境容量概念在实质上相同。报告中的各种测算模型可以看作是逻辑斯谛方程的变形与发展。“增长的极限”所引起的激烈争论是学术界所熟知的。不管对其评价如何，该报告已经把人类发展的环境容量问题作为研究对象摆到现代科学的面前。

一般说来，针对社会与自然的关系，利用环境容量的概念与方法研究人类发展，首先撇开其中起作用的社会因素，而将交织于其中的生态因素及其作用特点以纯粹的形式抽象出来，进行专门分析，这是科学的方法论所要求、许可的，也是达到全面揭示社会发展所必经的认识环节。忽视甚至反对这一方法，从而忽视在社会发展中起作用的人类生态规律，已经造成理论上的失误与实践中的危害。人类社会并不是也不可能处在生态规律作用之外。以人口为例，不管社会因素如何，世界人口数量变动的总趋势仍然摆脱不了生物界普遍呈现出来的逻辑斯谛曲线形式。

问题在于：不能以纯粹抽象的分析结果作为立论的唯一依据来推断人类社会发展，而不充分考虑其中起重要作用的社会因素。可以肯定，只有在人类社会的早期，如文明时代开始之前，生态规律几乎是以纯粹的形式在人类发展中起作用。而当文明时代开始以后，社会因素的作用愈来愈显著和重要，因而人类发展是由生态因素与社会因素的综合作用效应所决定。随着人类文明发展程度愈高，综合作用的形式、特点及其效应愈复杂。因为人是具有创造性的社会存在物，并以此区别于动物。由此，使得人类发展的逻辑斯谛关系增加了一个具有特殊意义的重要因素，即人的能动作用。动物只是受动于外在自然和它

http://bbs.3s001.com/

自身的自然。人则是在具有受致力性的同时，还具有对外在自然与自身自然的能动性。因此，承载人口增长与社会经济发展的环境容量既受生态规律的制约，又与人的社会能动作用有关。由于科学技术与社会生产力的发展及社会关系的不断改善，使地球上物质资源可供开发利用的范围不断扩大，程度不断加深，故环境容量是随着社会发展而逐渐增大的量。在人类发展史上，农业生产技术的出现及其进步、工业革命的开始及其传播，乃是两次大规模扩展地球环境容量的过程。

与此不同，相对于一种确定的生命形式或一个确定的物种，生物总数增长的环境容量总是现实地存在一个相对确定的限度。一般说来，这个限度并不能因该种生物的生命活动而在较短时期内发生显著的变化，只有当人类利用科学技术予以改造或干预时，才能发生较大的改变。但这已经不是生物环境容量的本来意义了。

虽然有如上述，但是对于人类发展来说，地球环境承载容量的扩大不可能是任意的、永恒的。

首先，在科学技术和社会关系发展的一定历史阶段，或者说，相对于一定时代的科学技术与社会关系，环境容量具有相对的确定性、有限性。它制约人口增长，影响经济开发的成效与限度。众多的研究资料都表明，无论是人类文明的史前时期，还是迄今为止的文明史，环境容量的限制因素都在人类社会发展的历史进程中起作用。只不过社会发展程度越高，这种作用越同社会因素的作用错综交织，或通过社会因素的作用而发生效应。工业革命以来的几百年间，随着世界人口数量的急剧增长与经济规模的快速扩大，环境容量的限制作用更突出。当代世界如人口、资源、环境污染等被称为‘危机’状况的一系列全球问题，

http://bbs.3s001.com/

都包含有环境容量的限制作用在内。

其次，虽然地球环境容量由于科学技术和生产力发展而扩大，但扩大的余地是有限的，不可能无穷无尽。这不仅在于地球环境之空间容量的确定性和有限性制约环境容量其他因子的增长，还在于这些因子可能增长的态势也服从逻辑斯谛曲线形式而有一个限度。例如，通过引进优良品种改造自然生态系统而使可再生资源的再生速度加快、再生规模扩大。但速度加快与规模扩大到一定程度后，继续加快与扩大的可能性越来越小。同样，单位耕地的产出能力可因人为因素而提高，但不能无限提高。人类发现新矿的概率在达到一个高峰数值后必然下落。如此等等，都是环境容量可能扩展的限度。

世界人口总数增长最终必然达到稳定阶段从而呈现出逻辑斯谛方程的 S 曲线形式。虽然形成这种曲线形式的内在因素不完全同于生物增长曲线的生态因素，但其中仍然包括地球环境容量扩展限度的制约作用在内。

就环境容量的增长最终具有确定性和有限性而言，麦都斯等人的研究报告《增长的极限》，包含有一定的合理性。其问题在于，没有且也无法将众多的社会人文因素以参数形式引入预测模型。在科学技术发展远景依然可观的现代条件下，承载经济发展的地球环境容量之最终极限，至少在今后一定时期内并不能确定。充分利用和发展科学技术，调整社会关系与国际关系，都将可能继续增大地球环境的承载容量。

环境容量表示生物增长与人类发展的环境条件及其限度。但这种限度的限制作用具有二重性。在生物界，它是限制种群个体数无限增长趋势的环境阻力，也是选择种群从而实现生物进化和促进生物多样化的自然选择因素。同样，人类发展的环

http://bbs.3s001.com/

境容量既是限制人口与经济规模增长的自然因素，又是促进社会提高人口质量、发展科学技术、开发和利用新资源以及改进社会关系的强制性推动力量。正是人类对资源、能源和其他生态危机的警觉，可能成为提高科学技术、改进社会关系以至调整社会发展模式的契机与动因。面对环境容量的限制作用，生物界是以物种的更替和多样性形式消极地适应它。在社会中，人类可能通过自己的能动作用进行经济与社会发展模式的调整来协调其与环境容量的关系。其中也包括增强地球环境的承载能力。

从环境容量的相对确定性及其可能扩展的最终限度来看，人类发展模式必然从数量增长即外延发展型转向到质量增长即内涵发展型，无论是人口数量增长还是经济发展方面，都必然如此。这是环境容量之限制作用将要产生或已经在局部范围内产生的必然结果。

综上所述，地球环境承载容量对人类发展既是一种必要而永恒的自然条件，又是一种必然而永恒的限制。其限制作用既是人类发展的一种阻力，又是一种推动力。而这种阻力和推动力借以实现的形式则决定于人类文明发展的历史水平。

2. 环境容量超载的生态调节方式

环境容量的相对有限性及其扩展的有限性，对社会发展的阻碍与推动作用之现实形式与环境容量超载后的生态调节方式有关。

生物由于其内禀增长率总有超越环境容量限度而无限增长的趋势。但又往往现实地与环境容量限度保持相适应的数量平衡关系。以至环境容量超载现象不可能过于严重或过于长久。这是因为自然界存在生态调节作用。主要包括种内生存斗争与

http://bbs.3s001.com/

种间竞争（如天敌活动等）。这是一种自然调节，或自然生态调节。宋代文人欧阳修在《秋声赋》一文中感叹“物过盛而当杀”，乃是对自然界生态调节现象的直觉。

当人类社会的文明程度尚未发展到较高阶段时，社会人口再生产在相当程度上保留了自然属性。因而由反映人的生物学属性的内禀增长率所影响的人口增长率也存在超越物质资料再生产条件从而超越环境承载能力的趋势，以至常常出现环境容量超载现象，形成社会与自然之间的生态失调。

引起环境容量超载的原因有两类：第一类主要根源于人口增长速度过快，人口基数过大。这类情况多半与社会组织水平、科学技术水平以及人口素质低下相联系。增长过快的人口为了生存，不得不以原始的农牧业生产方式或初级工业生产技术粗放型地扩大生产规模，造成耕地与草场的过重负荷、大面积植被破坏以及自然资源的掠夺性开发和浪费型使用等等。以至水土流失、气候失调、环境功能退化，环境容量缩小。人类迄今为止的历史以及当代发展中国家大体如此。另一类主要根源于人群消费欲望的过快增长和过于旺盛的消费模式，其中也包括通过刺激消费来拉动经济增长的经济运行机制，当代发达国家的情况即是如此。发达国家过于奢侈的消费模式对世界产生了不良影响，它诱使发展中国家将有限的科学技术条件和社会生产力几乎全部或大部用于消耗环境资源，以满足社会的物质需求，而不是适当地用于保护和发展环境功能，从而加剧了环境容量的超载现象。由此可以看出，科学技术与生产力的发展可以促进环境容量限度的扩展，也可能加剧环境容量超载现象，从而缩小环境容量。就人和自然的关系来看，科学技术与生产力不但有发展水平的问题，还存在发展方向和运用方向的问题。

http://bbs.3s001.com/

人类发展所造成的环境容量超载问题必然也要通过生态调节来解决，以保持人类发展与环境容量相对限度或增长限度之间的协调关系。

与生物界不同，人类发展进程中的生态调节可以由社会作用来实现。即发挥人的社会能动性，利用社会政策、行政措施以及其他人为方式进行。如有计划地控制人口增长、发展科学技术并调整其方向、人类发展由数量增长型转化为质量增长型等；又如改进社会关系、缩小贫富差距、降低社会平均消费水平。这是一种社会调节。由于它源于生态规律作用于社会所产生的客观要求，是社会生态规律的反映，故称这为社会生态调节。通过发展科学技术来扩大环境容量，使人类发展与环境容量限度之间达到平衡，则是社会调节的重要方向。当由此还不能解决社会与自然之间的生态失衡时，则需要对社会人口、消费水平、经济模式乃至社会关系进行调整，这是社会调节中的另一方向。社会调节方式的性质在于它的和平性与人道主义特点。它可以避免社会大动荡与社会倒退，是环境容量的制约性对人类发展起促进作用的具体形式。社会调节的有效程度决定于社会的组织水平、决策与管理水平、科学技术水平、文化水平与人口素质。但是，除了发展科学技术、促进环境容量的扩大外，对社会本身的调节往往比较困难。当社会调节不能有效地解决环境容量严重超载现象，使社会与自然之间的生态失调延搁日久以至达到特别尖锐的程度，将最终避免不了以自然调节方式的出现。自然调节的方式有战乱、灾荒、瘟疫、饥饿乃至经济崩溃等等。自然调节可能是在社会基本稳定的条件下实现，也可能是在社会在大动荡的条件下实现，具有非人道的、残酷的破坏性。虽然自然调节过程常常通过社会人的行为或人的社会行为实现，但其

http://bbs.3s001.com/

实质是由人的自然属性所主宰，故仍属于自然调节。恩格斯曾有一段为人们所熟知的阐述：“只有一个在其中有计划地进行生产和分配的自觉的社会生产组织，才能在社会关系方面把人从其余的动物中提升出来，正像一般生产曾经在物种关系方面把人从其余的动物中提升出来一样。”这一观点表明，恩格斯认定人类文明在发展到高级阶段之前，人的社会行为和人的社会关系常常可能由人的自然属性所主宰的事实。马尔萨斯的人口论包含有关于人和自然关系之生态失调后自然调节的思想，但他把这种关系简单化，论证也极为粗糙，而且不考虑或有意抹煞其中的社会因素，抹煞社会的人道主义责任和人道主义发展方向，把自然调节看作是永恒的调节方式，因而理所当然地受到来自不同政治观点的激烈抨击。但是，源于社会生态因素作用的自然调节乃是人类历史进程中的客观事实。在资本主义社会及其以前数百万年的人类史中，自然调节是一种频繁的、主要的调节方式。只是这种自然生态调节往往既根源于社会与自然之间的生态失调，也包括社会矛盾的作用在内，并常常因社会矛盾所诱发或反映为社会矛盾，不易区分。后世的治学者往往仅从自己的治学目的出发，予以抽象解释，未能全面说明。在实质上，自然调节是环境容量严重超载后的自然后果，是社会与自然之间的生态矛盾激化的灾难性消解方式。因此，人类社会发展应当避免环境容量超载现象发生，更应该避免解决超载现象的自然调节方式。对社会与自然的生态矛盾争取通过有效的社会调节予以解决，乃是人类社会发展的重要目标。而从自然调节过渡到社会调节，将是人类文明发展的重大飞跃。当今人类所面临的时代就是这样的过渡时代。

面对当今社会与自然之间的生态失调，不少学者提出多种

http://bbs.3s001.com/

方案。例如：实现计划生育，调整经济发展模式与消费行为，调整科学技术发展方向，改善社会关系以及国际经济秩序与政治秩序，缩小国际间与社会内的贫富差距，改变社会价值观念，强化生态意识，提高人口素质与社会教育水平，经济发展由外延扩张转化为内涵增长，推行和发展生态工业、生态农业，厉行各项环境保护措施等等。不少政治家们也力图使以上对策付诸实践，以使和平与发展、环境与发展成为时代主题与国际潮流。这都表明当代世界正在朝向社会调节方向前进。

但是，要从历史上经济出现的自然调节方式过渡到今后有效的社会调节方式，必须具备各种条件。如国际社会的广泛共识、对生态危机有深刻的认识以及各国社会组织水平、法治水平、行政管理水平、科技水平和人口素质的大幅度提高。因此，从自然调节出现的可能性过渡到有效的社会调节，还具有相当难度。其关键之一，是要对世界各国以及许多国家内部现行利益格局进行调整。

在当今的国际关系中，发达国家希望在确保自己现存利益格局的前提下解决民办范围内的生态失调。其解决生态失衡的根本目的也在于确保本地区的现实利益与长远利益。为此，某些人不惜在对别国进行环境保护项目援助的同时，又输出污染，甚至以援助为诱饵廉价抢购别国的自然资源，同时又严格地保护以至封存本地区的资源，使它国的环境容量为己所用。但是，发达国家又最害怕解决生态失衡的自然调节方式出现。这是一种自相矛盾的政策。政策目标与手段的自我冲突限难达到政策的预定目标。至于发展中国家，除了人口因素外，发展不足也是造成生态失衡的重要原因之一，因而必然急于优先实施发展计划。但转换发展模式并非容易，于是不得不在忍受生态失衡的

http://bbs.3s001.com/

困境中优先发展经济，增强国力。非如此，不足以对付发达国家企图以牺牲他国利益来解决生态失衡、保全自己利益的政策目标。这样，世界范围内社会与自然之间的矛盾推动自然调节方式出现的可能性仍然存在。当然，自然调节方式出现的可能性越大（即生态危机的灾难性后果越临近），则世界各国越有可能消除分歧并缓和社会矛盾，因而使社会调节方式越有可能成功。预计在 21 世纪内，自然调节与社会调节两种方式将可能在不同的局部范围内发生或奏效，尔后最终必将消灭自然调节的可能性，使社会调节在全球范围内成为有效和唯一的调节方式。从而，人类文明发展的更高阶段也就来临。

马克思在《1844 年经济学哲学手稿》中就他所预计和理解的共产主义有一段颇值得深思的话，他写道“：这种共产主义，作为完成了的自然主义，等于人道主义，而作为完成了的人道主义，等于自然主义，它是人和自然界之间，人和人之间的矛盾的真正解决，是存在和本质、对象化和自我确证、自由和必然、个体和人类之间的斗争的真正解决。它是历史之迷的解答。”这表明马克思早就把人类发展面临的矛盾看作是人与自然界以及人与人之间矛盾的交织，把两种矛盾看成是互为中介、互为因果的统一体。这种矛盾的解决需要自然主义与人道主义的统一。而一旦解决，就是共产主义社会的到来。统观社会与自然之间的生态矛盾及其解决趋势，表明了马克思这一段话的深刻性与真理性。社会与自然之间的生态矛盾本质上是社会矛盾以及社会与自然之间的矛盾的统一体。它的解决，需要人类发展服从自然规律，即人道主义与自然主义的统一，也需要人类利用自然规律按照符合人类自身利益的方向来改造自然、推动自然界的定向发展，即自然主义与人道主义的统一。当代社会与自然界之间

http://bbs.3s001.com/

生态矛盾的解决趋势从自然调节的可能性向社会调节的可能性转化，正反映了历史发展的这一趋势。

3. 环境再生产

长期以来，理论界一直认为，人类的历史是人口再生产与物质资料再生产的历史。但事实上还存在第三类再生产，即环境再生产。环境再生产的目的、内容、形式与规律随着人类史与自然史的关系变化而变化。可以认为，在人类发展过程中，有意识的环境再生产几乎是与物质资料再生产同时出现的。因为，农牧业生产的发展必须初步改变环境生态结构。另外，中国古代就有大禹治水的传说，以后的水利工程与京杭大运河的开通，都是环境再生产史上的著名事例。但是，就环境再生产在人类社会占有重要位置来说，只是现代的事情。当代环境再生产的首要目的，是补救地球环境容量的损害，保持人类持续发展的生态条件。工业革命以来，由于科学技术的进步，扩大了地球环境容量，使人口再生产与物质资料再生产的规范迅速扩大。但是，环境容量的扩大只是体现在物质资源开发的广度与深度方面，因而只是部分因子的扩大。与此同时，另一部分因子（如植被和森林面积、水土保持条件乃至大部分区域环境的生态动能）不仅没有扩大或增强，反而缩小或减弱。也就是说，工业革命乃至2 000多年以来的人类发展，又是以部分地损害地球环境容量为代价的，至今积弊甚重。因此，必须保护地球环境现有的生态功能，进而补救其损伤。为了满足已经出现的人口以及在一定时期内还将继续增长的人口的生存需要，满足物质资料再生产继续增长的需要，现代社会必须在增强环境生态功能方面继续扩大环境容量,如广泛地植树造林、改良土壤、治理沙丘、提高自然生态系统的再生能力、提高区域环境截留自然界不断流失的负

http://bbs.3s001.com/

熵和淡水资源的能力等。随着人类物质文化生活水平的不断提高，人类需求将越来越多地体现在良好的环境质量方面。所有这些，都必须通过环境再生产来实现。因此，环境再生产既是解决当代社会与自然之间的生态矛盾的需要，又是维持人类永续发展的需要，还是人类文明走向更高阶段的需要，是现代社会不可偏废而且越来越重要的一类再生产。

环境再生产的基本性质是社会物质资料再生产之地理环境条件的再生产。或者说是环境容量的再生产。在物质资料生产规模有限以及主要依靠自然调节来解决环境容量超载的历史时期，物质资料再生产的地理环境条件只能依赖于天然状况，或以损害这种条件为代价。而当代，是从根本上改变这种方向的时期。环境再生产正是从根本上改变这种历史方向的具体途径，是与生态文明建设相一致的。

环境再生产的规模是由现代社会的特点、条件和今后发展的需要所决定的。重要的是把握三类再生产的规模比。要从需要与可能两个方面考虑。

环境再生产同样需要投入一定的物质与能量，需要相当的经济实力与技术条件。因此，环境再生产的规模在其现实中受制于物质资料再生产的规模与效益。经济与技术越发达，国力越富足，环境再生产的规模就可能现实地扩大。当代发达国家的情况正是这一规律的反映。在经济与技术力量不足的条件下，环境再生产与经济再生产的规模比必须要小。企图超越经济实力而过高提出环境保护目标，全面扩大环境再生产的规模，是不切实际的。应当考察环境再生产的内容与结构，那些与经济再生产的经济效益冲突较大而环境效益又不显著或暂时不具有迫切性的环境再生产项目，在经济发展水平不高的国度只能

http://bbs.3s001.com/

暂缓实施。经济效益与环境效益在现实中具有直接统一性的环境再生产项目，则需要扩大规模。特别是扭转生态退化趋势、关系农业前景的环境再生产项目，则应以增长的规模实施。

当前，发展起来的环保产业属于典型的环境再生产的内容。但是，环境再生产也必须考虑效益与方法，而且这种效益不能以传统的经济价值观作为衡量的基础。在技术条件暂时没有取得突破的情况下，过大的物质能量投入而又不可能收到相应的环境效益，这一类环境再生产项目可能成为加剧环境冲突的因素，有违环境再生产的目的和本质。因而应当调整。

环境再生产是全面解决当代社会生态失衡的必要途径，但不是充分途径。控制人口、调整经济发展模式和社会消费模式、改变价值观念和人们的社会行为等，也是解决生态失衡的重要而现实的方面。

三、海洋资源开发与我国经济的可持续发展

(一)海洋与经济的持续发展

海洋在我国经济发展中占有至关重要的地位。改革开放，首先打开的是海上大门，成功地建立了 5 个经济特区,确立了一批沿海对外开放城市，形成了一个沿海开放带，打破了中国经济与世界经济的彼此分隔，使中国进入世界经济一体化潮流之中，大大促进了中国经济的发展。我国沿海地区用占全国 13% 的土地,养育了 40%的人口,创造了 60% 的产值,这得益于海洋是显而易见的。沿海地区依靠其海洋区位优势和海洋资源优势，积极引进国外资金和先进技术，发展海洋经济和海岸带区域经济，使沿海地区成为我国经济发展最快、外向度最高、最有活力

http://bbs.3s001.com/

的地区。

沿海地区的经济具有开放性和带动性的特点，海洋经济产业具有渗透力强、辐射面宽的特点。利用这些特点，可以优化沿海与内陆之间的资源配置，带动内地经济发展，从而加快海陆一体化建设步伐。我国的几个较大的区域经济发展战略（如长江大走廊战略、亚欧大陆桥战略等）都以沿海作为发展龙头。没有亚欧大陆桥的海上桥头堡，大陆桥就失去了意义；没有上海作为龙头，也就谈不上长江大走廊战略。

发展海洋经济是实现国民经济可持续发展的重要动力源。21 世纪，资源问题将困扰整个世界。我国陆地自然资源人均占有量低于世界水平。人均占有陆地面积仅 0.002 千米^2，有的地区人均耕地已下降到不足 0.047 公顷，降到了联合国规定的人均耕地警戒线 0.053 公顷以下。全国淡水资源总量年均 2.8×10^{11} 米^3，居世界第 6 位，但人均占有量为世界水平的 1/4。进入 21 世纪，与国民经济发展有密切关系的 45 种主要矿产将有一半不能满足需要，已探明的陆地油气资源再过几十年也近于枯竭。随着时间的推移和经济的快速发展，资源矛盾将越来越突出。而海洋是个巨大的资源宝库，蕴藏着丰富的生物、油气、能源、旅游、矿产、淡水等资源，海洋将为我国经济的发展提供丰富的资源基础和广阔的活动空间，海洋资源的可持续利用已成为我国的重要战略决策。

我国濒临海域面积约 4.727×10^6（千米）^{2}。大陆海岸线长 18 000千米；500 米^2 以上岛屿有 7 371 个，岛屿岸线长 14 000 千米 有滩涂面积 2.17×10^4（千米）^{2}，领海和内海面积 3.88×10^5（千米）^{2}。按照《联合国海洋法公约》有关规定和我国政府的主张，我国享有主权和管辖权的海域（包括大陆架和专属经济

http://bbs.3s001.com/

区)面积约 3×10^6(千米)^2，并具有分享国际海底资源及和平利用极地区域的权利。我国近海渔场总面积 2.81×10^6(千米)^2，海洋生物已鉴定的种类达 2 万多种，其中鱼类占世界总数的 14%(3 023 种)。浅海和滩涂总面积达 1.46×10^5(千米)^2。我国有 5 000 千米的基岩海岸,有 150 多个面积大于 10(千米)^2 的海湾。沿海可供选择建设中级以上泊位的港址 160 多处。我国海域的石油资源量为 450 亿吨，天然气资源量约为 1.4×10^{13} 米^3。近海石油和天然气资源量很大，分别占总量的 1/3 左右。沿海有宜盐土地及滩涂资源约 0.84×10^4(千米)^2,高浓度的地下卤水总净储量为 7.4×10^9 米^3,含盐量为 6.46×10^8 吨,含氯化钾 0.15×10^8 吨，这些卤水资源储层浅、易开采，是制盐及盐化工的理想原料。海滨砂矿种类繁多，达 65 种。目前已探明具有工业储量的砂矿有 锆石、锡石、独居石、钛铁矿、磷钇矿、铬铁矿、磁铁矿、金红石、石英砂、砂金和金刚石等。海滨砂矿累计探明储量为 1.527×10^9 吨。我国沿海可开发的潮汐能资源丰富，计有 424 处坝址,测算总装机容量为 2.18×10^7 千瓦,沿岸波浪能资源理论平均功率为 1.28×10^7 千瓦,据对我国沿岸 130 个水道的统计，潮流能的理论平均功率为 1.39×10^7 千瓦。南海和台湾以东海域有丰富的海洋热能。我国自 70 年代以来,对太平洋东北部海底铁锰结核资源进行多次勘查，在北纬 7°～18°、西经 138°～157°的范围内圈出了 3×10^5(千米)^2 的申请矿区，1991 年已获得国际海底管理局筹委会批准，其中 1.5×10^5(千米)^2 的矿区作为我国的开辟区，其余 1.5×10^5(千米)^{2}作为国际海底管理局的保留区。

我国沿海地带跨越热带、亚热带、温带三个气候带,具备‘阳光、沙滩、空气、绿色’五个旅游资源基本要素,旅游资源种类繁

http://bbs.3s001.com/

多,数量丰富。据初步调查,我国有滨海旅游景点 1 500 多处,滨海沙滩 100 多处,其中最重要的有 国务院公布的 16 个国家历史文化名城,25 处国家重点风景名胜区,130 处全国重点文物保护单位 7 处国家海洋自然保护区。改革开放以来,全国海洋资源开发速度加快,80 年代海洋经济每年平均以 17% 的速度增长,90 年代以每年 20% 的速度递增,预计到 2000 年,海洋产业产值将达到 5 000 亿元。海洋经济的增长速度仍可保持在 20% 左右,将成为我国经济的重要组成部分。海洋对 21 世纪中国经济发展具有举足轻重的战略地位,开发海洋、利用海洋,将为实现我国经济发展的总体战略目标做出重大贡献。

(二)海洋与食品供应

中国人能不能养活自己?这是一个时期来国际社会十分的关注的热门话题。美国著名的世界观察研究所所长莱斯特·布朗,1994 年以来在不同场合多次提出了“未来世界粮食观”及“未来中国粮食观”,引起国际社会的普遍关注,成为 1995 年世界农经界的议论焦点。布朗称,中国粮食问题的原因在于需求和供应两方面。需求方面,一则人口基数太大,并还在继续增长中;二则自改革以来,经济一直高速增长,人民生活水平提高,饮食结构发生变化,鸡蛋、家禽、猪肉、啤酒的人均消费量剧增,而这些食品的生产都消耗大量粮食。布朗预测,如果中国的人均粮食年消耗量从目前的接近 300 千克增加到 2030 年的 400 千克,那么,到时候就需要进口大约 3.69 亿吨粮食。布朗关于中国粮食的分析是否准确且不评论,但从我国的实际情况看,人多地少、粮食供求矛盾的确存在且越来越突出。

随着我国国民经济的快速发展,土地需求急剧增加,导致耕地资源流失严重,加剧了我国人口与耕地之间的矛盾。从人均

http://bbs.3s001.com/

耕地面积看,建国初期我国人均耕地面积大约为 0.18 公顷。从 1978 年到 1994 年，全国耕地面积净减少 458.7 万公顷,而人口增加了 2.3 亿;人均耕地面积从 0.1 公顷减少到 0.08 公顷,相当于世界平均水平的 1/4,全国有 1/3 的省(自治区、直辖市)人均耕地不足 0.07 公顷,其中广东、福建、浙江人均耕地在 0.04 公顷左右，已经低于日本人均 0.047 公顷的水平。

从增加农产品的有效供给来看，今后面临的压力是很大的。一是人口的增长不可逆转。到 2000 年,中国总人口将超过 13 亿人,按 90 年代初期人均口粮消费水平计算,仅人口增加"九五"时期口粮就需增加 2300 万吨。二是居民消费水平不断提高的趋势不可逆转。随着今后城乡居民收入的持续增长，对肉类的需求会日益增长，对饲料粮的供给将造成巨大压力。三是今后耕地面积的减少难以逆转。据估计，1995～2000 年,耕地将减少 120 万公顷。显然，我国要在十分有限的耕地上，养活日益增多的人口，困难会越来越大。四是我国粮食单产的增幅正在下降。在耕地面积不断减少的情况下，增加粮食生产的关键在于提高单产。但这方面也不乐观，1977～1984 年,单产年增幅为 7.1%。1984～1990 年,年均增幅为 1.8%,而 1990～1995 年,年均增幅只有 0.7%。五是农产品价格日益逼近世界农产品价格，依靠提价来刺激农业生产的回旋余地越来越小。

中国靠占世界 7%的耕地养活了占世界 22%的人口,这方面固然说明了中国农业的成就，但另一方面也反映了中国耕地负担的沉重。如果仍然局限在这 7%的耕地上,中国日渐减少的耕地还能支撑多久？我们为什么不开阔视野，看到我们巨大的海洋潜力,让广袤的海洋奉献海洋食品,也来承担一份陆地粮食压力的重担呢？海洋与陆地是同等重要的食物生产基地，海

http://bbs.3s001.com/

洋中含有储量丰富的食物资源。海洋约占地球表面积的 71%，据有关专家测算，全球海洋每年的初级生产力约为 1 350 亿吨有机碳，整个地球生物生产力的 88% 来自海洋。海洋可提供的食物，要比陆地全部可耕地提供的食物多上千倍。据有关资料介绍,海洋每年可向人类提供 30 亿吨水产品(鱼类、贝类、藻类、虾蟹类),能满足 300 亿人的蛋白质需要，目前开发的仅 1 亿多吨。

海洋不仅可提供大量的食物，而且海洋提供的食物是高质量的食物。增加海产品产量对改善人们的饮食结构、提高生活水平有重要作用。据有关资料介绍，日本和我国台湾省每年人均直接消费粮食都只有 90 多千克，但人均消费水产品却很高，日本高达 80 千克，而我国水产品人均占有量只有 20.5 千克。据统计，全国有适宜养殖的浅海滩涂 260 万公顷,目前仅利用 1/4；近海、外海和远洋渔业也有很大的开发潜力。合理开发利用这些不与粮食争地、又不与畜牧争草的渔业资源,提高其生产水平,是开拓新的农业资源、增加食物总量、减少粮食的直接消费、保障我国粮食安全的战略措施。总之,21 世纪解决国内的粮食问题离不开海洋。发展节粮、节地型的渔业,是符合我国国情的正确选择。耕海牧洋,发展远洋渔业,建设海上“菜篮子”工程,走海洋牧场化道路,以及实施海洋药物、海洋保健食品开发的“蓝色工程”,应列入国家发展战略,这是解决吃饭问题和提高人民生活水平的重要战略举措,是功在当代、利在千秋的宏伟战略工程。

(三)海洋与人口增加

一个国家的劳动力就业状况是衡量其资源配置和经济结构是否合理、经济是否具有活力的重要尺度,同时也是直接关系到

http://bbs.3s001.com/

社会是否安定和政权是否稳固的大问题。我国是世界上第一位的人口大国,据有关专家预测,在未来的 15 年间,我国每年将增加劳动人口 600 万左右。目前农村有 1.2 亿左右的剩余劳力,20 世纪末剩余劳力将增至 1.8 亿左右,2010 年可能接近 3 亿。总之,21 世纪我国就业压力十分沉重。而 21 世纪,充分利用海岸带的区位优势和海洋资源优势,加速中国海洋事业的发展,能提供相当大的就业机会,提供广阔的生活和生产空间,可有效地缓解人口增长、劳动力过剩带来的就业压力。

首先,海洋产业的迅猛发展,必将是 21 世纪吸引和安排劳动力的战略途径。以山东为例,目前全省仅开发了 20 万公顷浅海滩涂,占可开发利用的 1/5,即已直接安排产业劳力 100 多万人(如果加上间接劳动力,数量更大),全国算起来则是一个庞大的就业数字。随着 21 世纪中国大规模开发海洋,海水增养殖业、远洋渔业、海洋食品工业、海洋药物工业、海洋化工业、海水淡化工业、海洋能工业、海洋油气工业、海洋采矿业、海洋旅游业、海洋交通运输业、船舶和机械制造业、海洋建筑业以及围绕海洋业发展起来的产前、产中、产后服务业等几十个行业将得到迅猛发展。一大批农业剩余劳动力及贫困地区的人口必将涌向海洋,汇聚成一支庞大的中国海洋产业大军,使 21 世纪中国的就业压力得到缓解。其次,从人口分布居住的角度看,全世界经济、社会和文化最发达的区域多位于沿海地区,世界 60% 的人口居住在距海岸 100 千米的沿海地区内。而目前我国沿海省、自治区、直辖市居住人口占全国的 40%(含沿海省超过海岸带 100 千米居住人口)。到 21 世纪中叶,中国达到中等发达国家的水平,即 50%～60% 的人口居住在沿海地区,人口密度将达到 500～800 人/(千米)^2,全国 18 000 千米的海岸线上会出现

http://bbs.3s001.com/

500 余个不同规模的城市和港口经济区（现在中等以上城市只有 25 个），届时，距海岸带 100 千米的居住人口将达到 8 亿～9.6亿，海洋将使沿海形成城市化经济、社会和文化发达地带，为 21 世纪人口居住和劳动力就业开辟新门路。

四、实现海洋资源的可持续利用

前面我们已谈了许多可持续发展的问题，虽然是从整个地球人类的生存环境而言的，但对于海洋环境同样适用。海洋资源的开发利用不可能不影响海洋环境，要实现海洋资源的可持续利用，实现海洋经济发展战略，充分考虑这种环境影响并加已保护是必要的。

（一）深海采矿对大洋生态系统的影响

1873 年，英国‘挑战者’号考察船首航大西洋，发现了大洋多金属结核。自 20 世纪 60 年代末以来，许多国家对多金属结核、富钴结壳和热液硫化物等深海固体矿产资源进行了普查、勘探。特别是 Merro 关于大洋多金属结核资源量估算论文的发表，使人们认识到了它的潜在价值。因为据科学家预测，随着工业革命的飞速发展，21 世纪初陆地上的铜、钴、镍、锰等资源将不能满足人类的需求。因此，前苏联、日本、法国、美国、德国等发达国家以及印度等发展中国家开始考虑把以大洋多金属结核为代表的深海固体矿产资源作为未来的战略资源。

到 80年代初，科学家们已基本查清了太平洋、印度洋、大西洋的多金属结核的资源量。从 1983 年开始，先驱投资者（如前苏联、法国、日本等国）已先后向联合国国际海底管理局筹委会等机构提出矿区申请并获得批准。我国作为先驱投资者的申请

http://bbs.3s001.com/

也于 1991 年 3 月 5 日得到批准，从而在太平洋拉里昂一克里帕顿(C－C)区获得了 150 000(千米)^2 的开辟区。前苏联、日本等国还在积极研究结核开采和冶炼的方法。专家们认为，从目前技术水平看，大洋多金属结核的开采技术 20 世纪之内基本可以解决。因此，其商业开采只是时间问题了。

目前，尽管深海采矿尚未开始，但是人类从陆地采矿、滨海砂矿以及石油与天然气的开采中清醒认识到，在商业化采矿真正开始之前，必须对其环境效应保持清醒的认识。可以说这是摆在人类面前迫在眉睫的问题，这个问题不解决，必将阻碍资源的商业化开发。为此，1982 年《联合国海洋法公约》明确规定深海矿产资源是“人类共同继承的财富”，但人类在从事矿产资源勘探与开发的同时也有义务与责任保护海洋环境。许多事实证明，对深海采矿行业说，90 年代将是研究深海采矿环境及其保护的 10 年。

1. 深海采矿对环境的影响

目前一般认为，深海采矿的环境影响主要有以下三种：第一，采矿系统对海底环境特别是生态系统的影响。在集矿机采集多金属结核的过程中，一方面对采集路径上的动、植物产生干扰和直接破坏；另一方面将对表层沉积物进行搅动，破坏沉积物原有的结构、构造并使沉积物进入水体形成沉积物云团。第二，采矿船废液、废水排放对海洋环境特别是表层水域环境的影响。集矿机将结核收集到一起之后，将利用射流将结核冲洗干净，然后压碎，并将包含破碎结核与海水的泥浆提升到采矿船上，如果在采矿船上对结核进一步加工，则势必将尾矿、废水排放到海水中，废水、尾矿中含有颗粒物质与微量金属，将对表层水域产生一定影响。第三，陆上加工处理造成的环境影响。从洋底采获

http://bbs.3s001.com/

的多金属结核将主要在陆地上加工处理，加工处理过程中会产生大量废弃物如废水、化学废料、有毒气体等，它们对当地居民的生活环境和大气环境以及社会经济、社会环境、居民生活也会产生潜在影响。

2. 深海采矿对大洋生态系统的影响

目前一般认为，与大洋多金属结核开采有关的环境问题很多，但主要的影响还是对大洋生态系统的破坏。所谓“生态系统”是指一个自然地区内生活的生物与无机界的环境之间彼此相互依存和相互作用，形成一个物质与能量的生产、流通和转换的自然系统。

(1) 对海洋底栖生物的影响　主要是由海底集矿装置运转引起的。深海摄像、取样等发现很多结核生长并赋存在平均厚3～8厘米的半液体沉积层中。该环境中含有80%以上的底栖生物，它们主要由少量表生动、植物和较丰富的内生动物组成。表生动物大多数是以食表层沉积物中的有机质生活的食泥动物。当集矿机前行进时，行进路径上95%～100%的底栖生物会被搅起的沉积物掩埋或被直接损害而死。同时，由于沉积物被翻到行进路径的外侧，路径边缘的底栖生物也会遭受破坏。而临近采集器周围区域的生物也会受到扰乱或被驱赶到另外的地方。此外，集矿机对沉积物搅动的结果会破坏沉积物层的原始结构、构造，并使沉积物进入水体形成沉积物云团。沉积物层结构的破坏会对底内（穴居）生物的生存环境造成破坏。进入水体中的沉积物云团主要由颗粒物质组成。较粗的颗粒会在较短的时间内沉到海底，在集矿机周围发生再沉积作用；而细的颗粒则可在水中呈悬浮状态，存在时间较长。美国科学家对DOMES(深海采矿环境研究）项目的试采矿监测研究表明，集矿

http://bbs.3s001.com/

机附近的云团以及集矿机行驶区域以外颗粒二次沉降产生的影响面积约为 50(千米)^2。这种沉积物云团会干扰底栖生物的呼吸系统、视觉系统和繁殖功能等。二次沉降物也会在一定程度上埋没海底植物和底栖动物。

(2) 对浮游生物的影响　浮游生物是指没有真正的游泳器官、经常随波逐流被动地飘游在水中的生物。浮游生物按水深大致可以分为以下四个带：上层浮游生物带（200 米水深以上）;中层浮游生物带(200～1 000 米);深层浮游生物带(1 000～2 000 米）；底层浮游生物带(4 000 米以下)。采矿过程对浮游生物的影响主要体现在以下两个方面：

①采矿形成的沉积物云团的影响：如前述，结核集矿机采矿过程中搅动沉积物能形成沉积物云团。采矿规模不同，形成的沉积物云团的规模也不相同。它主要影响最靠近海底的底层浮游生物带。该浮游生物带的环境特点是：水温很低（1～4℃，且稳定不变）、沉积速率较低、光线穿透力很差、养份供应十分有限。光照条件是浮游生物赖以生存的重要的环境因素之一，沉积物云团作用的结果会使本来便很差的光照条件变得更差，并会降低水体的清洁度，导致属种类型的减少、丰度大大降低。

②采矿船的活动造成的影响：如前述，采矿在作业过程中将向海中排放废水、尾矿等。DOMES 对 OMI 和 OMA 两个财团 1978 年试开采的监测结果表明，由采矿船废水排放而产生的羽状颗粒云团在距离采矿船 2 千米之内都可见到，其宽度 300～400 米。结果还显示，此羽状颗粒云团密度在距采矿船 70 米处为 900毫克／升,而 8 千米处下降为 70 毫克／升。仅 5 小时后，此羽状颗粒云团扩散范围长 4 千米,宽 1 千米。在随洋流(流速为 17 厘米／秒)扩散和漂移之前,颗粒下降到水下 20 米。由此

http://bbs.3s001.com/

可以看出，采矿船废水等排放影响的区域主要是表层水域，即上浮游生物带的范围。该带是海洋中生物生产率最高的水层，据估算海洋中 80％ 的生物量产于这一水层。而其中的生物量主要由海洋浮游植物和浮游动物组成。采矿船排放的尾矿中含有大量颗粒物质，排放的结果将会直接影响透光性，并降低浮游植物的光合作用速率，从而降低生物生产率。

排放的废水的另一个特点是其温度低于表层水温。在结核从深海底提升和脱水分离过程中，尽管水温比底层水温（一般为 1～4℃)有所增高(排放时水温一般为 7～10℃),但在试采矿的试验区表层水正常温度为 26℃ 。因此，将废水排放到表层水域的结果会造成表层水温的大幅度下降，而温度也是透光层中生物生存的重要困素。

（3）对食物链结构的影响　食物链是指生物以摄取食物的方式相互间形成的等级关系。自然界中基本上有三种食物链：捕食食物链、寄生食物链和腐生食物链。大洋环境中基本上是以第一种食物链为主。大洋食物链的源头是从太阳获取能量进行光合作用的有机组织，它们从周围的海水中汲取以可溶性矿物盐形式存在的氮、硫等元素；食物链的下一个环节是以这些有机组织为食物的食草动物；再下一个环节是以食草动物为食物的食肉动物，而这些食肉动物又是其他更高级食肉动物的食物。最后，上述这些环节的分子中的一部分死亡并腐烂形成有机质(碎片),又返回去成为食物链源头的有机组织的养料,与来自太阳的能量一起为整个生态系统储存新的能量。从目前的研究结果来看，深海采矿几乎对食物链的每一个环节都有不同程度的影响。首先是对食物链最低环节的有机组织有损害，主要由采矿船所排放废水、尾矿中的有毒、有害物质引起；其次是集矿

http://bbs.3s001.com/

机及其形成的沉积物云团对食物链中较低环节——浮游植物、底栖和浮游动物的破坏以及采矿船排放的低温（与表层水温相比）和密度大的废水的影响。低温主要对温度敏感生物以及鱼苗、鱼卵等有一定破坏，对温度敏感生物而言，它们在温度 10℃之下超过一定时间便会死亡，而对鱼苗和鱼卵来说，如果周围的海水在一段时间内温度持续很低，必然会导致死亡率的上升。另外，低温也会导致生物呼吸系统功能和光合作用能力的下降。比重大的废水在排放之后会很快沉到表层水之下 20米处，然后向水平方向扩散。造成表层水域中颗粒增加，从而破坏光合作用，它还会影响食物链中较高级环节的鱼类、哺乳动物以及海鸟等的视觉能力。视觉的影响将会对摄取食物造成不良影响。对大型浮游生物而言，可能的影响是死亡率上升，同时，一些重要的生理功能如捕食、呼吸、发育、生长、繁殖等也将会发生变化。

食物链对研究生态环境是非常重要的，很有必要查明食物链是哪个环节最先受到影响。如果这种影响是持久的，则会在食物链以后的环节中有所加强，结果是食物链中环节越高，所接收的有害物质就越多。因为采矿船的废水排放对食物链最低环节有机组织有损害，必须对这些有机组织的生物积累效应作出评价。这种生物积累效应涉及有毒物质的消化及其后在有机组织中的残存。因为海洋环境的食物链比陆地上要长得多，所以有毒物质的生物积累效应及其通过食物链向上传递将具有长期的影响。

另外，在研究采矿过程对生态环境的影响时，必须了解在动物和植物被消灭、损害或驱逐的区域需多长时间它们才能恢复繁殖。海上作业的干扰率和恢复率比值的大小至关重要。如果干扰率与恢复率之比接近 1，那么海底生物种类和数量在一段

http://bbs.3s001.com/

时间之后会基本恢复正常 反之,如果大于 1，那么结果将是生物量的减少，并且很有可能造成某种生物的消亡。

总之，深海采矿对大洋生物生态系统的影响是多方面的。

目前，尽管深海采矿对大洋生态系统潜在影响的研究已取得了丰硕的成果,但有许多问题还没有解决,主要体现在以下两方面。

第一，试采矿监测结果可靠性评价。作为商业开采的试验阶段,自 70 年代以来许多国际财团、机构分别在大西洋、太平洋、印度洋和红海进行了试采矿试验。例如:1970 年 OMI 在大西洋的布雷克海底高原进行了首次多金属结核采矿试验;1977～1979 年间,3 个财团(OMA、OMCO、OMI) 在太平洋 C－C 区进行了结核开采试验;1979 年沙特一苏丹联合委员会在红海对多金属软泥进行了探索性试采试验。美国于 1975 年实施的 DOMES 项目主要对 OMI、OMA 在 C－C 区的试采矿进行了环境监测。监测研究主要集中在对表层水域羽状颗粒云团的监测，监测结果是：试采过程中并没发现对环境产生太大的影响，采矿船废水通过排污管直接向海底排放对底层海水的营养水平影响也很小。但是，试采矿与商业化开采二者还是有很大区别的，主要是采矿规模不同。前面提到的试采矿的设计能力只占商业开采的 1/5～1/10。真正商业开采的规模要大得多，其造成的环境效应也会更复杂。因此，对试采矿监测结果的应用应持谨慎态度，并应作出可靠性评价。因为它直接影响商业开采的进程。

第二，深海采矿对生物群落有利、不利的正确评价。谈到深海采矿对生物群落的影响时，一般注意的是对生物群落的破坏作用，即注重研究其不利影响。1977 年在东太平洋加拉帕戈

http://bbs.3s001.com/

斯深海裂谷热液喷口附近发现了以贻贝类、管虫类等宏观动物为主组成的独特生物群落——喷口动物群（也有人称为热泉动物群）。研究发现，生物标本采集等人为的破坏作用可以引起群落结构的破坏，并能在一定程度上刺激生物的快速生长。由此联想到，深海采矿过程是否也能在一定程度、一定范围内对某种生物群落产生类似的影响？施里弗等对秘鲁海盆的研究曾表明，采矿活动有可能帮助加快生物的活动（诸如繁殖、捕食行为、生长等）。

美国科学家的研究表明，采矿船向表层水域排放的废水中也含有丰富的营养物质。这些营养物质的含量高出正常表层水的 70 倍。它们在被排放到表层水后，将会加快浮游生物的生产，并增加初级生产量。

此外，根据美国 DOMES 对太平洋 C－C 区 A、B、C 三个试验区所作的分析，发现硅是唯一得到富集的元素。一般认为，表层水域硅含量的增加将促进海洋浮游生物的生长。

鉴于上述的情况，可以认为查明采矿过程对生物群落有利、不利影响及其重要性的大小、主次，将是今后研究的一个重点。

由于以大洋多金属结核为主的深海矿产资源开发在 21 世纪即有可能开展，近年来各国对由此过程造成的环境效应特别是对大洋生态系统的影响研究正蓬勃开展。美国的研究兴趣仍然集中在深海底，研究集矿机经过结核区时对沉积物和底栖生物的影响。德国学者则主要开展海底微生物研究，并于 1989 年对南太平洋海底 10.8（千米）^{2} 的圆形区域进行了扰动试验，他们试图通过现场的观测，了解预期的生物再生过程。德国人的这一“扰动和生物再生试验（DIS-COL）”项目，首次在大尺度内研究了深海采矿的环境问题。日本也于 1990 年开始与美国合

http://bbs.3s001.com/

作对深海采矿环境问题进行研究，日本研究海面环境问题，美国则集中研究海底。他们还计划在 C－C 区进行试采矿和系统的采矿监测研究，以建立深海采矿对海面及水体影响的模式图。

我国深海采矿环境问题研究起步较晚，但目前已经引起了有关科学工作者的重视。有的学者已对我国未来的研究方法等作出了有益探讨。近期的研究主要应是在对先进国家资料收集的基础上加强国际间的合作研究。

(二)海岛持续性生态工程建设

海岛的持续性生态系统建设，就是海岛的生态建设，或称生态工程。它是从现代生态学的观点出发，对海岛的开发建设选择既开发又保护、既利用又养育的最佳方案，并成为满足当代的需要、又不对后代各种需要的能力构成危害的发展，即持续发展战略。

1. 海岛持续性生态系统建设的意义

海岛作为海上的陆地，是海洋开发的前哨和基地，其优越的地理位置、特殊的战略地位、险要的军事战略要冲、复杂多样和脆弱的生态环境、渔港等丰富的优势资源以及全方位辐射交往的特殊功能，决定着海岛开发必须是利用与养育并重，以确保海岛的长期存在。例如，我国的南沙群岛共有 200 个以上岛礁,但岛陆面积仅有 2 (千米)^2 (其中最大的太平岛只有 0.432 (千米)^2) 土地资源极为有限，然而它所涉及的经济海域竟高达 82×10^4(千米)^2，成为我国南部海疆的宝贵海洋国土资源，且海底蕴藏着丰富的油气资源。据中国海洋石油勘探开发研究中心的专家多年研究，预测南沙海域石油资源量为 4.189×10^{10} 吨，天然气资源量为 $8\times10^{12}\sim10\times10^{12}$ 米^3。如果按现行国际油价每桶 20 美元计算，仅石油资源量就价值 5 万多亿美元。显而易

http://bbs.3s001.com/

见，保护好这类岛礁的生态地貌环境不被侵蚀破坏，对维持我国的海洋权益不受侵犯是至关重要的。

同样，由于我国地处亚洲东部、太平洋西岸中段，随着世界经济中心向亚洲太平洋地区转移，其战略地位日益提高，作为它的前沿海岛区，也更加令人注目。因为，我国海岛分布靠近大陆,依岸展开,相对密集,使海岛发展有沿海城镇做腹地依托,而沿海城市又有海岛作为前沿基地，构成了广阔的开拓空间。大城市与大岛成倚角之势，优势互补，相得益彰，为海岛的全面开发建设提供了有利的条件。海岛的区位优势必将转化为经济价值而成为一种优势资源。在进行大规模的海岛城镇化建设时，也必须多顺其自然发展，少赋加人为改造，任何超负荷开发，甚至是以破坏自然生态环境平衡换取暂时的经济繁荣，都是不可取的，在这方面的教训是极其深刻的。

总之，由于海岛面积小、地域结构简单、生物多样性程度低、稳定性差，加之环境容量有限，使海岛具有许多生态特性和相对隔离的脆弱性，因而海岛是一个脆弱的生态系统。因此，海岛开发的首要问题，是适度开发利用资源、保护海岛生态环境和社会经济的发展。事实上，随着人类对海岛开发强度的加大，海岛已面临人口不断增加的压力，生态环境遭受严重破坏的威胁，许多海岛的森林植被被毁，地表水土流失加剧，裸岩石砾地面增加，岛上的珍贵动植物资源,环岛海域的鱼、虾、贝、藻、蟹等水产资源，有的已处于濒危和形不成生产能力。为今后之计，对于海岛的开发建设，必须根据生态经济原理和系统工程方法进行总体规划，通过持续性生态系统建设，使系统内合理物质循环和能量转化得以确立，不断地提高系统的生态经济效益，实现海岛生态平衡和资源的永续利用。这正是海岛持续性生态系统建设的意

http://bbs.3s001.com/

义所在。

2. 海岛持续性生态系统建设的内涵

20 世纪以来，由于自然资源的过度开发与消耗、污染物质的大量排放，导致全球性的资源短缺、环境污染和生态破坏。这些问题的不断积累，加剧了人类与自然界的矛盾，对社会经济的持续发展和人类自身的生态构成新的障碍。于是，联合国于 1992 年 6 月召开了环境与发展世界首脑会议，通过了《里约宣言》和《21 世纪议程》等重要文件，并把可持续发展道路作为未来的长期共同的发展战略。

海岛的持续性生态系统建设，也就是海岛的可持续发展战略。因此，要很好地认识并协调人口、资源、环境和发展之间的关系。这四个方面是相互关联的，其中某一个环节失衡，就可能带来不可弥补的损失。

众所周知，海岛的自然生态环境是岛上居民生存和经济发展的物质基础，是须臾不能离开的东西。走持续发展道路，就是谋求实现经济与环境的协调发展和维持新的生态平衡。解决目前出现的生态恶化和环境污染，把对大气、水、土壤和生物等自然因素的不利影响，缩小到最低程度。特别是通过持续性生态系统建设，确立新的经济发展战略，发展清洁生产和无害环境(或有益环境)的技术体系等。

可持续发展涉及到各个方面。海岛的持续性生态系统建设，将给海岛的经济发展带来全方位的变革。而对于我国海域这样辽阔,岛屿众多,各岛具体条件千差万别,发展背景各异,其持续性生态系统模式建立，必须因地因岛制宜，切不可强求划一或搞一刀切。

3. 海岛持续性生态系统建设的途径

http://bbs.3s001.com/

依据可持续发展内涵，结合海岛的自然环境、资源条件和社会经济发展现状，借鉴陆域有关生态建设的经验做法，其建设途径有：

(1) 岛屿陆域绿色工程　岛屿陆域是我国国土的重要组成部分。借鉴陆域生态建设经验，一种是发展“四位一体”生态农业村。这种模式约占地2 000米^2,建有太阳能住宅(含屋顶接水工程)、蔬菜大棚,猪舍与厕所建在大棚的一端,厕所下面建沼气池。实现太阳能、生物能、沼气能、电能综合利用。这种开发模式，促进了土地资源合理配置，实现了立体开发。通过对耕地的立体综合开发利用，提高了保护地的土地利用系数，实现了能源优势互补的科学种田模式。以渔村住户庭院为生产单元，以沼气为纽带,集种植、养殖、能源、住宅为一体,是符合生物学、生态学原理的。把沼气、生物、厕所、饲料等有机结合,形成岛上生态能源的新模式。加之，施有机肥的蔬菜是无公害、无污染的绿色食品，不仅解决岛上的吃菜难的问题，还有利于开展岛上旅游业。基于海岛土地资源有限，可以联户经营，或者以村为单元，加以科学、合理地组织开发。

另一种岛屿绿色工程是生态、社会、经济三大效益并重的综合利用模式。明确规定村内以有机肥为主，以生物防治为主，不准建污染性企业，禁止使用剧毒农药。注重突出休闲农业，种植体现生物多样性，养殖实行生物链式，街道实现园林化。这种发展模式,是把海岛这一农业短腿一举变为集生产、生态、休闲、旅游为一体的高效观光农业，推动海岛经济发展再上新台阶。

(2) 环岛海域生态型渔业　生态渔业是一种可持续发展的渔业生产方式。它是根据生态系统内物质循环和能量转换规律建立起来的渔业生产结构。在生产中，利用各种营养物质的循

http://bbs.3s001.com/

环关系，建立和谐互补的生产方式，形成一个增殖品种多、产出效益高、可永续利用的环岛海域生态型渔业。

根据山东长岛县的经验，建立这样一个持续性渔业生态系统，其核心是营造“海底森林”。因为，目前海水立体利用形式，主要是水面浮筏养殖贝、藻类和海底底播增殖鲍、海参、海胆等海珍品。对这样一种养殖模式，如获取较高的水产品，其能量的转换首先来源于植物的光合作用，转换成有机物后进入生态系统。而当前的问题恰是环岛海域海洋植物增殖不足，如能发展各种海藻类,营造起‘海底森林’,是获得更多经济动物的最有效途径：一是它可以直接作为鲍、海胆等经济动物饵料，这是海底底播增殖鲍、海胆的基本条件；二是由风浪作用，海藻以碎屑形式进入生态系统，成为贝类等滤食性动物的主要食物来源；三是海藻栖息地方能形成包括垂直层在内的三维环境，这和单调板平松软的海底相比,更适宜于多种生物栖息 四是‘海底森林’稠密的根子成簇地扎在松软海底上，起着稳定底质作用，能抗风浪，形成一个平静的水域环境，成为许多生物的避难所和繁衍地，尤其对上层筏式养殖贝类有着特殊意义，能防止底泥浮起，水质混浊，减少贝类死亡；五是它还可挖掘渔业外的资源利用，最大限度地提高海洋水体转化太阳能的效率，为开发形成海水灌溉的非海洋生物利用的种植业(或称‘海水农业’)打基础、创条件。

综上所述,环岛海域生态型渔业,是一个高效益、无废品、多层次、开放式、综合性的渔业。

(3) 海岛森林公园　海岛森林公园是一种特殊的自然保护区。它既起保护或恢复自然综合体的作用，又兼有园林性经营与管理，是进行科研及公共教育的场所，又是对外开放供人游乐

http://bbs.3s001.com/

的旅游胜地。森林是海岛生态系统的主体，植树造林可提高海岛的环境质量。有林就有水，有水就有生物，协调的林一土一水一生物系统将会使海岛更富有生命力。在一般情况下，森林可使降雨量的 50%～80% 渗入土壤并贮存起来，若有 3 000 (千米)^{2}森林就相当一个 100×10^4 米^3 水库。平均每平方千米的森林,可贮存 $5\times10^4\sim20\times10^4$ 米^3 的水。森林植被不仅可涵养水源,还可节制地表径流,保持水土,调节气候,保护农田等。特别有了大范围、大面积茂密葱郁的森林，不仅增加了旅游、休憩场所，还可开展以森林浴、狩猎、运动休闲等为内容的海岛娱乐旅游活动，给游人增添无穷的乐趣。

目前，国家已批准建设的海岛森林公园，在辽宁的长山群岛和福建的东山岛，森林绿地建设面积分别为 7 200 公顷、9 000 公顷。另据广东省海岛资源综合调查发现，该省上川岛东北端东旗顶,有总面积达 941 公顷自然林。无论是巩固原有和继续扩大，发展以园林经营与管理型的海岛森林公园工程，应成为实施海岛生态工程的主体，并因地制宜地予以发展和扩充。

(4) 海岛生态保护业　对海岛区珍稀物种(植物、动物)、特异生态景观、代表性地质剖面与地貌景观和生态资源（如水资源等),通过建立国家、省、县、乡级自然保护地、保护区或海岛公园等途径加以保护，可确保维持海岛区物种的基本生态过程，保存物种遗传的多样性并维持其生态平衡。这是惠及当代、造福子孙的大事。同时，在保护区的核心外围部分，还可对游人开放，增加经济收益，发展生态保护业。全国拟在珍稀动物、植物、珊瑚礁、红树林、地貌景观、地质剖面、生态景观和人文景观等方面,建设几十处自然保护区(地),保护区范围至少占海岛(岛陆、岛基、岛滩、环岛浅海)总面积的 5% 以上。

http://bbs.3s001.com/

发展环境保护业，从一定意义上说也是生态保护业的一种，它可以确保环境在健康状态下再生产。尤其是对海岛这种脆弱生态系统而言，更具有重要意义。其产业类型涉及资源治理型、环境治理型、灾害预防型以及监测型等环境保护产业系统。所有这些，都是实施海岛持续性生态系统建设所不可缺少的。

(5) 海岛特殊开发利用模式　海岛特殊开发利用模式，系指无人小岛的开发利用。这类岛屿，约占海岛总数的 90% 以上。由于无人岛土层薄、土地贫瘠、生态系统脆弱、资源种类单一、资源数量小,极不利开发利用,有的目前尚无开发利用价值。对于这类岛屿的开发利用，应遵循先保护后开发、重点保护适度开发、多自然发展少人为改造等保护性开发利用原则，建立起良性具有开发价值的海岛天然一人工生态系统或科研基地。

所说特殊开发利用，应包括野生放养经济动物、种植和栽培经济植物，以及风能、太阳能的开发利用等。

4　海岛持续生态系统建设的对策

由于海岛具有分散、孤立、封闭、土地资源有限等基本属性，加之海岛的分布范围广，地区跨度大，岛的开发基础又因各岛条件不同而异，现行行政区域隶属领导又无力顾及，所有这些都需要加强海岛开发、保护和管理。

(1) 切实做好海岛的开发建设规划　根据海岛开发建设方针、原则、总目标，制定出海岛开发建设的整体规划。为使海岛开发科学、合理和有序，应从海岛的自然属性和资源条件出发，划定海岛的功能并进行分类，确定海岛的主导功能、开发方向和重点开发项目，并把资源开发寓于生态系统建设之中。

发展海岛经济和建设生态经济岛，仅有海岛个体的开发是不够的，还要根据海岛的主导功能、开发条件的相似性，对海岛

http://bbs.3s001.com/

进行区划,确定分区的产业布局和城镇布局,形成规模、生态、高效开发的海岛区域经济。

(2) 依靠现代科技开发建设海岛　　海岛虽然资源丰富多样，但分散度大、资源密度小、开发技术要求高，从而开发难度大、风险大、投资大、效益低、发展慢。加之海岛的资源、环境、经济和社会发展都有别与陆地，岛上的科技发展也应有自己的特点。就大多数海岛而言，人口比较少，科技人员不足，科技资金有限，难以全面研究和开发各种海岛需要的技术。因此，应贯彻“三为主”的科技发展方针,即引进为主、推广适用技术为主、因岛制宜为主，适当进行自主开发和发展高新技术。技术引进要抓住重点，在当前应以引进捕捞技术、增殖养殖技术、水产品深加工技术、农林牧新品种和生态工程建设技术，以利海岛持续性生态系统建设。

(3) 加强海岛立法和综合管理力度　在我国的海岛开发进程中,已面临人口增长、环境恶化、灾害频繁、生物多样性受损等问题，迫切需要立法和加大海岛综合管理的力度。

从 1988 年底起，在全国范围内组织进行的海岛资源综合调查,国家和沿海省、市、自治区结合国情、省情起草了海岛综合开发保护管理法规，现在的问题是亟待国家和省、市立法部门予以审定和通过，并在实施过程中不断充实和完善，以便切实实施综合管理。

依据综合性开发保护规划加强综合管理，既可防止部门间各行其事，又不否定土地、水产、林业、海洋等部门管理的作用，而是在部门或分资源管理的基础上，由各部门的代表参加，在海岛市、县级建立综合协调体制，统筹兼顾，分工负责，各司其职，通过立法的形式把这种制度固定下来，促进海岛开发和持续性

http://bbs.3s001.com/

生态系统的建立。

(4) 成立海岛开发建设协调机构　　目前，海岛不仅开发程度低，就是地方实施行政领导也往往是鞭长莫及。一些海岛市、县、乡领导,在参加行政区域会议时,既缺少共同语言,又很少研究岛上关心的问题。正是基于这种情况，全国 13 个市、县(区)长，曾自发地组织进行过跨地区的联席会议，商讨海岛开发大计，虽然从中得到有益的启示，但毕竟这是民间联合，缺乏强有力的组织协调功能。大家都积极主张成立海岛开发建设协调机构，并建立起协商制度。

在现有工作基础上和不增设机构与编制的条件下，可在 13 个海岛市、县(区)长联席会议基础上,成立全国海岛开发建设协调委员会，并在国家海洋局设立其日常办事机构。这样，对海岛的开发、保护和生态建设，特别是对海岛资源的可持续利用将是十分有利的，对海洋开发也会产生积极而深远的影响。

海洋资源的可持续利用是人类社会发展的必然要求，它与人类社会的可持续发展是相统一的。保护了海洋，也就等于保护了人类自己。海洋资源的可持续利用必将是我们人类永恒的主题。

http://bbs.3s001.com/

序

广袤无垠的大海，曾激起人们多少遐思，无数骚人墨客遥望大海,赋诗吟唱 多少英雄豪杰面对沧海,抒怀咏志。

今天，大海已不再仅仅是诗人灵感的源泉，在人类生存空间日趋拥挤、资源日趋匮乏和环境日趋恶化的地球上，大海是人类拓展生存空间的重要场所，是人类补充陆地资源匮乏而有待开发的广阔领域。同时，它作为行星规模的庞大整体，在很大程度上决定着人类生存环境的变化。于是，人类把目光投向了无尽的海洋。

对大尺度的海气相互作用的研究，会使灾害天气的研究成果为陆地农业的丰收还是欠产做出预测；对广漠的大洋底的研究，会使人类找到最急需的油气资源和各种金属矿藏；对种类繁多的海洋生物的研究，会丰富我们的餐桌，满足因人口增加而急剧增大的蛋白质需求；对海洋活性物质的研究，会为增进人类健康做出贡献。所以，海洋科学研究和海洋开发是一个非常重要的领域，人类在这个领域里将不惜巨资，不遗余力！

目前的高技术领域中，核技术、信息技术蓬勃发展，

http://bbs.3s001.com/

生物技术、材料技术方兴未艾，而海洋科学作为一门综合性学科，更是日益重要地被提上研究日程。当代科学的主要工作，是围绕着解决人类面临着的争取持续发展这一重大问题而进行的。海洋有矿、有粮，有宝、有药，有巨大的空间！海洋开发呼唤人类，呼唤有志的青年投身其中。

在世纪交替之际，山东科学技术出版社组织出版了《海洋新探索从书》,这是在提高全民族海洋意识方面的添砖加瓦之举。这套丛书共四册，从海洋资源开发、海洋生物技术、海气相互作用、物理海洋等方面介绍了海洋科学领域的新探索。它不是普通意义上的启蒙读物，而是用较通俗的语言对目前海洋科学的前沿和焦点问题进行阐述。作者大多是青年科学家，海洋科学的未来是属于他们的。我们要大力支持青年学者在这方面的创意性的工作。

《海洋新探索丛书》将告诉大众尤其是青少年,现在的海洋科学家正在做什么，以期唤起他们的兴趣，为建设开发祖国的万里海疆贡献力量。书中虽有缺点和不足之处，但瑕不掩瑜，值得向广大读者推荐。

中国科学院院士 秦蕴珊

1999 年 7 月