



“海洋梦”系列丛书



海立 云垂

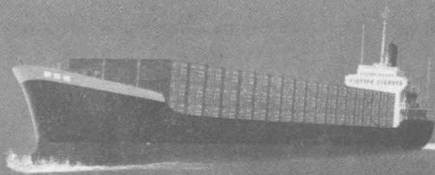
海洋工程与海港

“海洋梦”系列丛书编委会◎编



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

“海洋梦”系列丛书



海立 云垂

海洋工程与海港

“海洋梦”系列丛书编委会◎编



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

海立云垂：海洋工程与海港/“海洋梦”系列丛书编委会编. —合肥：合肥工业大学出版社，2015.9

ISBN 978-7-5650-2425-2

I. ①海… II. ①海… III. ①海洋工程—普及读物②海港—普及读物
IV. ①P75-49②U658.91-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 209047 号

海立云垂：海洋工程与海港

“海洋梦”系列丛书编委会 编

责任编辑 何恩情 张和平

出版	合肥工业大学出版社	版次	2015年9月第1版
地址	合肥市屯溪路193号	印次	2015年9月第1次印刷
邮编	230009	开本	710毫米×1000毫米 1/16
电话	总编室：0551-62903038 市场营销部：0551-62903198	印张	12.75
网址	www.hfutpress.com.cn	字数	200千字
E-mail	hfutpress@163.com	印刷	三河市燕春印务有限公司
		发行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2425-2

定价：25.80元

如果有影响阅读的印装质量问题，请与出版社市场营销部联系调换。

目 录

海立云垂——海洋工程与海港

第一章 海洋中的矿物能源开发

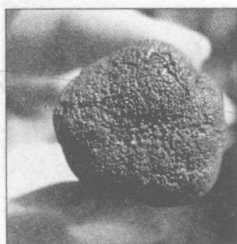
海洋：人类的盐库·····	002
海底宝库：深海锰结核·····	003
无穷无尽的海洋能源·····	010
未来的海洋生物发电·····	013
海水温差发电和海水盐差发电·····	014
尝试中的洋流发电·····	016

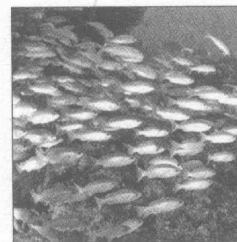
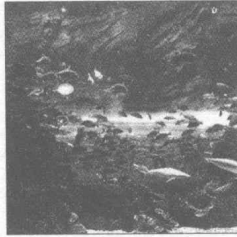
第二章 海洋工程与海洋开发

海洋工程的定义·····	020
海洋工程的特征·····	021
海洋工程的意义·····	023
向海洋深处进军·····	025
海洋开发的特点·····	027

第三章 海上娱乐与海洋风光

奢华独享——游艇旅游·····	032
海上翡翠——台湾岛·····	034
海底先驱——“凡尔纳”酒店·····	037
海天佛国——普陀山·····	039
白鹭之岛——厦门·····	043





豪华盛宴——邮轮旅游·····	045
神秘传奇——复活节岛·····	047
梦想天堂——马尔代夫·····	050
新兴娱乐——海上娱乐场·····	052
迷人童话——哥本哈根·····	054
海上天堂——阿特兰蒂斯·····	057
海洋体验——海洋公园·····	059

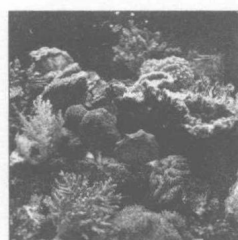
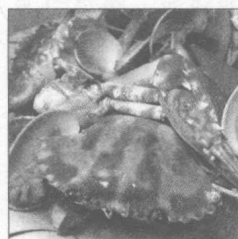
第四章 叹为观止的港口与码头

认识海港·····	066
帆船之都——青岛·····	069
奢华巅峰——迪拜·····	071
欧洲门户——鹿特丹·····	073
博采众家——伊斯坦布尔·····	076
梦想起航——纽约·····	078
远东狮城——新加坡·····	080
信息潮流——西雅图·····	082
秀美自由——奥克兰·····	084
浪漫优雅——伦敦·····	086
军港传奇·····	087

第五章 平衡再生的海洋粮仓

海洋粮仓——逐步实现的梦想·····	092
人工鱼礁——给鱼儿一个家·····	093
苗种基地——鱼类的育婴房·····	096
海水养殖——围网中的海洋“农场”·····	097
海中明珠——海水珍珠养殖·····	100
海洋粮仓的补充·····	101





第六章 声名卓著的海洋工程

人工岛——海上国度的第一步·····	106
海洋平台——海洋石油开发的基础·····	112
海堤——最早的海洋工程·····	115
护岸·····	118
海底隧道和海上桥梁·····	122
防波堤——海港兴盛的前提·····	125
海底管道·····	128
海洋储藏——空间利用新进展·····	132
码头——海洋运输的起点·····	135
海上运载火箭发射场和航天港·····	138
海底军事基地·····	139
海洋油气田开发·····	143

第七章 开发海洋更要爱护海洋

厄尔尼诺现象与拉尼娜现象·····	154
海洋污染·····	156
“护岸卫士”红树林·····	159
人类保护海洋的行动·····	161
蔚蓝色的憧憬·····	164

第八章 科学技术与海洋工程

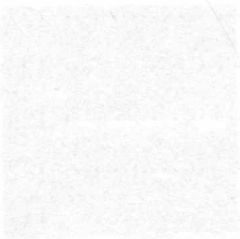
科学调查船·····	168
海洋浮标·····	170
水下摄像和摄影·····	175
海洋卫星·····	179
风靡世界的“海底探宝热”·····	183



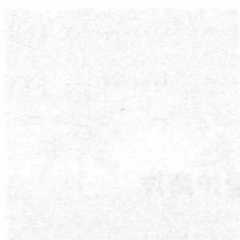


海洋潜水器.....	187
海洋机器人.....	192
未来的“海中人”.....	194

811



811



811



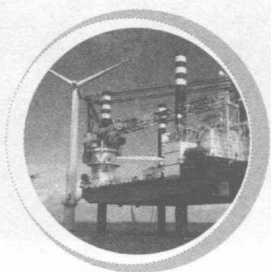
811





第一章 海洋中的矿物能源开发

随着工业的发展，人类对矿产资源的需求量成倍增长，陆地地壳中的矿产资源、能源矿物逐渐减少，有的趋向枯竭，丰富的海底矿产资源将成为 21 世纪工业原料的重要供应基地。海底矿产资源十分丰富，从近岸海底到大洋深处；从海洋表层到海底岩石以下几千米深处，无不有矿物分布。辽阔的海面上翻滚着汹涌的波涛；有规律的潮汐活动犹如草原上的万马奔腾，势不可当；大洋中的洋流浩浩荡荡、奔流不息；海水中蕴藏的热能更是取之不尽、用之不竭。



海洋：人类的盐库

食盐是人类普遍食用的调味品，是人体不可缺少的物质。据科学家统计，一个健康成年人每天要从各种饮食中吸取 5 ~ 20 克的盐分。这些盐分能维持人体血液的渗透压，促进血液循环，保持新陈代谢的正常进行。

食盐也是基本的化学工业原料，制造肥皂、精炼石油、炼钢和炼铝，

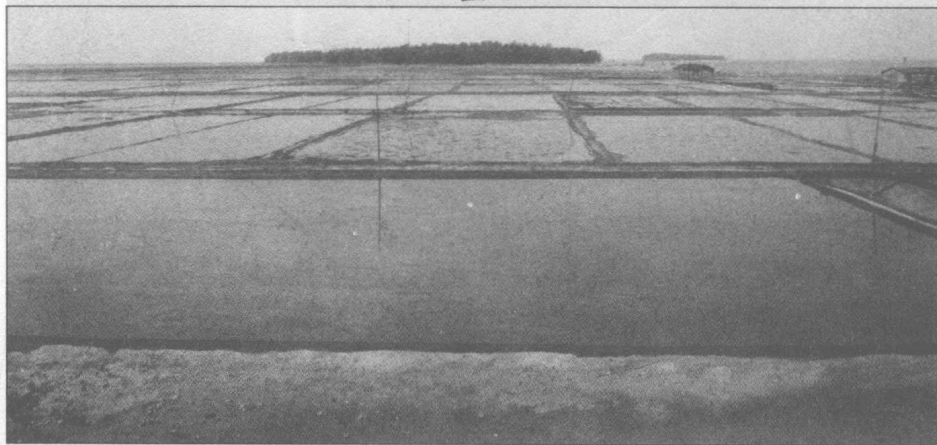
提炼纯碱、烧碱，生产盐酸及化学肥料氯化铵等都是以海盐为原料。可以说，在化学工业中，凡是用到钠和氯的产品，绝大多数都源于海盐。所以说，盐不仅是人类生活的必需品，而且是化学工业之母。

我国拥有漫长的海岸线，沿海有许多海滩，平坦、广阔，多晴朗干燥的天气，对发展海盐生产有着极其有利的条件，因此，海盐产量居世界首位，而且利用海水制盐已有几千年的历史。

煮海为盐和滩晒法是从海水中提炼盐的两大方法。

煮海为盐就是把海水取上岸来，放在铁锅等设备内，用火烧，待海水烧开后，蒸发出水汽，使海水浓缩成苦卤，再使苦卤继续蒸发，蒸发到最后，食盐就会变成一粒粒像冰糖一样的晶体，从海水中跑出来。

盐田



世界历史学家们公认，中国是最早从海水里提取食盐的国家。据文物考证，早在 5000 年前，我们的祖先已经用海水煮成食盐了。相传历史上有个夙沙氏，他是跟神农氏同时代的人，首先煮海为盐。



你知道吗

古代制盐

在我国，早在公元前 4000 多年前，炎帝时夙沙氏就教民众煮海水取盐。在仰韶文化时期（公元前 5000 ~ 前 3000 年），福建沿海的人民制成了熬盐的工具。到了春秋战国，位于山东的齐国专设盐官煮盐，并把“渔盐之利”作为富国之本。汉代盐铁已成为“佐百姓之急，足军旅之资”。在明朝永乐年间，制盐技术又有了新的发展，开始废锅灶，建盐田，改煎、煮、熬盐为晒盐，并一直沿用至今。

从海水中制取盐的另一种方法是滩晒法。滩晒制盐的地方是盐田，一般建在海滩边，借用海滩逐渐升高的坡度，开出一片像扶梯似的一级一级池子，利用涨潮，或用风车或用泵抽取海水到池内。海水流过几个池子，随着风吹日晒，水分不断蒸发，海水中的盐浓度愈来愈高，

最后让浓盐进入结晶池，继续蒸发直到析出食盐晶体。

在我国，滩晒法最早出现在元代，到了清朝康熙年间，大规模开辟华北长芦盐区，开始大面积滩晒食盐。其他国家海水制盐的方法基本上和我国相似。有趣的是，美国实现专利法时，第一个专利就是滩晒食盐的工艺，滩晒法经济有效，到现代还在广泛采用。

现在我国有 40 多万制盐工人，随着现代化的机械操作，加上科学管理，海盐生产逐年上升，每年可以生产海盐近 2000 万吨，占食盐总产量的 80%，居世界第一位。

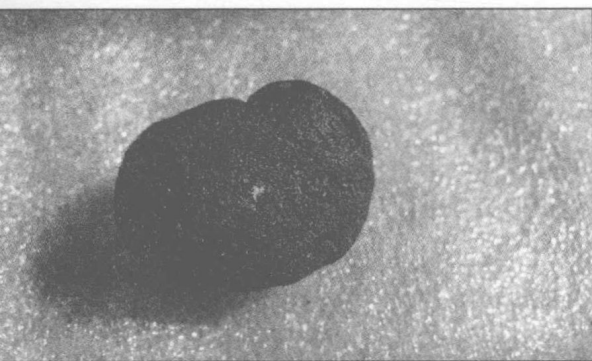
在制盐方法上，还有一种是冷冻法。在瑞典和苏联等国家，他们让海水天然冷却成冰，冰几乎由淡水组成，剩下来的是苦卤，就是浓盐水。让苦卤经过几次冰冻，得到的盐水越来越浓，最后，再用人工加热的方法得到食盐晶体。这种方法只能在冬天生产，其产量不高。



海底宝库： 深海锰结核

锰结核是一种海底稀有金属矿源。它是 1873 年由英国海洋调查船首先在大西洋发现的。但是，世界上对锰结核正式有组织的调查，始





太平洋锰结核

于1958年。

调查表明，锰结核广泛分布于4000~5000米的深海底部。它们是未来可利用的最大的金属矿资源。

深海锰结核的发现，在人类的找矿活动中，可以说具有划时代的意义。在锰结核中，除了有铁和锰以外，还含有铜、钴、镍等30多种金属元素、稀土元素和放射性元素，尤其是锰、铜、钴、镍的含量很高，在目前技术条件下都具有工业意义。锰结核中稀有分散元素和放射性元素的含量也很高，如铍、铈、锆、铌、铀、镭和钍的浓度要比海水中的浓度高几千、几万乃至百万倍。这些元素是重要的战略物资，也是炼钢、化工、电子、通信、喷气式飞机和燃气轮机等现代工业的重要原料。在陆地上原材料日益短缺的情况下，开采深海锰结核无疑会给工农业生产注入新的血液。

锰结核一般产于沉积速率低的

沉积物上。它的形成有三种主要的来源，即成岩的（来自腐败沉积物的孔隙水）、水成的（来自上覆海水）和热液的（来自洋底热源）。受热液影响的锰结核主要发现于板块边界附近，其铁的含量高，而镍、铜、钴的含量低。暴露于高海脊和海岭上，受水成的影响占优势的锰结核，则含铁和钴高，而含镍、铜和锰低，钴的含量可超过1%。受成岩作用影响的锰结核富含锰，并含有较高的镍和铜。

令人感兴趣的是，锰结核是一种自生矿物。它每年约以1000万吨的速率不断地增长着，是一种取之不尽的矿产。

世界上各大洋锰结核的总储藏量约为3万亿吨，其中包括锰4000亿吨，铜88亿吨，镍164亿吨，钴98亿吨，分别为陆地储藏量的几十倍至几千倍。以当今的消费水平计算，这些锰可供全世界用3.3万年，镍用2.53万年，钴用2.15万年，铜用980年。仅从每年新生长的锰结核中提取的铜，就可供全世界用3年，钴用4年，镍用1年。加上原有的，深海锰结核可说是一种永久性资源了。

目前，大洋锰结核勘探调查比较深入，技术比较成熟，预计到20世纪末，可以进入商业性开发阶段，



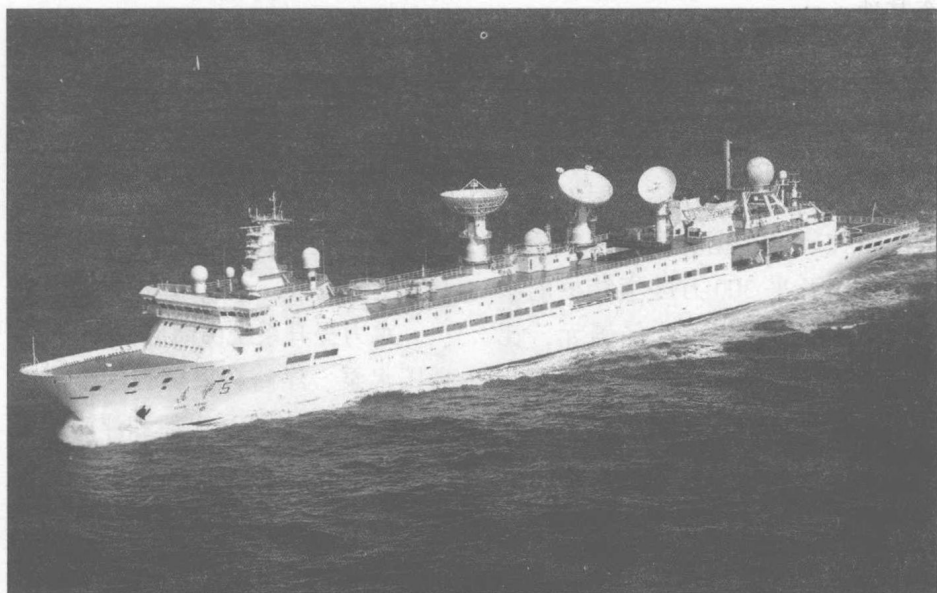
正式形成深海采矿业。锰结核在三大洋均有分布。太平洋中锰结核的平均富集程度为每平方千米 10 千克。太平洋海底表面的 75% 为锰结核所覆盖，是最有希望的开采区。

由于锰结核储藏大，金属品位高，而且世界上锰、铜、镍又供不应求，钴仅仅只能勉强维持供需平衡，因此，许多国家都对深海锰结核感兴趣。美、英、日、俄罗斯等国已成立了许多公司，从事勘探和试采工作。印度、法国、挪威、德国等国也在进行开采的准备。有的国家还建立了提炼工厂。

我国的远洋调查船于 1978 年对太平洋进行了科学考察。在水深 4000 多米的地方，取得了一定数量

的锰结核。1983 年，“向阳红”16 号进行锰结核调查，并捞取了更多的锰结核。之后，我国进一步加快了锰结核的调查、勘探和试验开发工作。

世界各国对锰结核的争夺相当激烈。1982 年，联合国海洋法会议通过的《海洋法公约》规定：国际海底区域及其资源是人类共同继承财产，并通过关于对锰结核勘探、开发活动投资的决议。这项决议规定：在 1983 年 1 月 1 日以前，投资达到 3000 万美元，其中有 10% 的投资是用来选取未来矿址海域的国家，在国际海底管理局筹委会成立以后，可登记为先驱投资者。发展中国家在 1985 年 1 月 1 日以前达到



我国的科学考察船

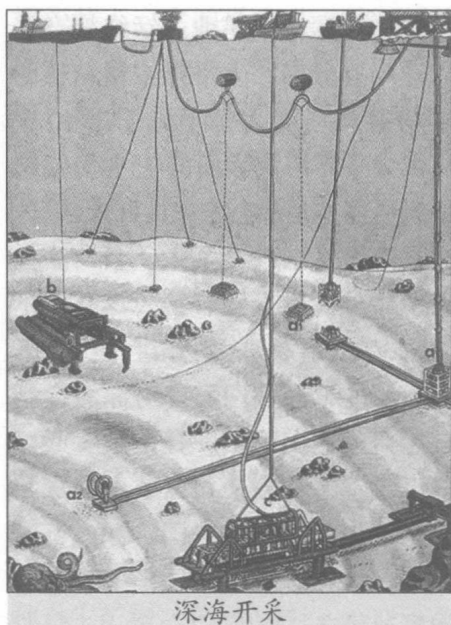


以上投资标准的，也可以申请为先驱投资者。美国、苏联、法国、日本、印度等 11 个国家被列入先驱投资者。当时，我国没有要求作为先驱投资者，但是我国已经声明，从 1976 年开始，我国已投资 8000 万人民币，调查了部分国际海域的海底，并有 1600 万人民币直接用于海底调查。所以，我国被认为是潜在的先驱投资者。凡取得先驱投资者资格的，可以在太平洋富矿区占有一块 15 万平方千米的矿址。1990 年 8 月，我国已向联合国国际海底管理局筹委会正式提出申请，作为先驱投资国。我国的申请已被批准。这样，我国就可以得到一块开采海域，成为 21 世纪深海矿产开采的一个基地。

锰结核不像石油那样埋藏在海底深处，而是铺在海底表层，就像露天煤矿那样，所以开采起来比较容易。加上它的品位高，因而开采的成本比较低。据美国经济学家计算，一年开采 300 万吨锰结核的企业，可获利 1.5 亿 ~ 2 亿美元，比陆地上开采的效益高 3 倍。

至于谈到大洋锰结核的具体开采技术，迄今还处于试验阶段，预计在 21 世纪可进入商业性实用阶段。

目前，锰结核开采系统的研制技术已基本成熟。锰结核的开采系



统通常由集矿、输送和采矿船三部分组成。经过有关专家论证，认为比较经济适用的有三大类：

1. 提升采矿系统

这一系统是目前世界各国试验研究的重点。它是根据美国科学家的设想于 1978 年研制成功的。因提升的方式不同，又可以分为水力提升和空气提升。

水力提升系统由海底集矿装置、高压水泵、浮筒和采矿管四个部件组成。采矿管挂在采矿船和浮筒下，起到输送锰结核的作用；浮筒安装在采矿管上部 15% 的地方，其中充以高压空气，以支撑水泵的作用；高压水泵装置在浮筒内，它的功率



为 5884 千瓦，通过高压使采矿管内产生每秒 5 米的高速上升水流，使锰结核和水一起由海底提升到采矿船内；集矿装置承担筛选、采集锰结核的作用。

空气提升系统由高压气泵、采矿管、集矿装置三部分组成。高压气泵不是安在水中，而是装在船上。采矿作业时，首先在船上开动高压气泵，气泵产生的高压空气通过输气管道向下，从采矿管的深、中、浅三部分输入，在采矿管中产生高速上升的固体、气体、液体三相混合流，将经过集矿装置的筛滤系统选择过的锰结核提升到采矿船内。空气提升系统的提升效率为 30% ~ 35%。为了使采矿管中水流的上升速度达到每秒 3 米，需要利用功率为 4340 千瓦的空气压缩机，每分钟吹进 225 立方米的空气。据有关资料报道，现在，空气提升系统已能在水深 5000 米处作业。

不久以前，法国研制成功了一种新颖的流体采矿系统，集矿装置由拖曳式改为自动驱动式，它在海底能自由运动。采到锰结核后，先进行初步处理，把锰结核粉碎成矿浆，然后通过水力泵把矿浆输送到一个叫缓冲器的装置内，最后把矿浆压送到水面。这一系统也可以在水深 5000 米处作业，最大生产能力

为每小时 500 吨。

2. 链斗采矿系统

这是一种机械式采矿系统，也是第一代采矿系统。1967 年由日本工程师发明。它的基本结构与常见的链斗挖泥船相似——在高强度的缆绳上，每隔 25 ~ 50 米安装一个采矿斗。然后把一串链斗安装在采矿船的绞车上。采矿时，链斗从船头上放下去，经海底再从船尾提升上来，形成一个循环式采掘过程。采矿船一边行驶一边采矿。每个斗每次大可采到 1.5 ~ 2 吨的锰结核矿石。

3. 采矿系统

这种采矿系统是根据机器人的原理研制而成的。它由很轻但强度很大的材料制成，在水下的重量为零。下水前，采矿船上装满压舱物（一般为锰结核冶炼后的矿渣），这一系统能自动驱动，在海底采集锰结核矿。采满后，卸掉压舱物，按程序上浮到一个半潜式水上平台中，把锰结核卸在平台上，尔后再装上压舱物，重新下潜到海底采集锰结核。目前，这种系统的采矿能力可达到每小时 25 吨。

在 21 世纪初，美国将大量使用高科技无缆自动潜水器来开采深海



锰结核。这种潜水器采用程序控制，与其他采矿机械相比，它的优点还在于：水下作业时间长，同时还可以进行矿产资源的现场分析评价，如用中子激活分析技术、原子吸收技术等，在海底运行过程中即可完成矿物成分的分析化验。

由于深海自动采矿具有不受波浪和气候的影响，以及不破坏环境的特点，因此是一项颇有发展前途的深海采矿新技术。

在介绍锰结核的开采技术以后，下一步便是如何进行加工冶炼的问题了。

在锰结核矿石中，以锰的氧化物和铁的氧化物为主要成分。它具有复杂的显微结构，而且由极细的颗粒组成。锰结核矿石的化学性质和物理性质因地而异，如来自大西

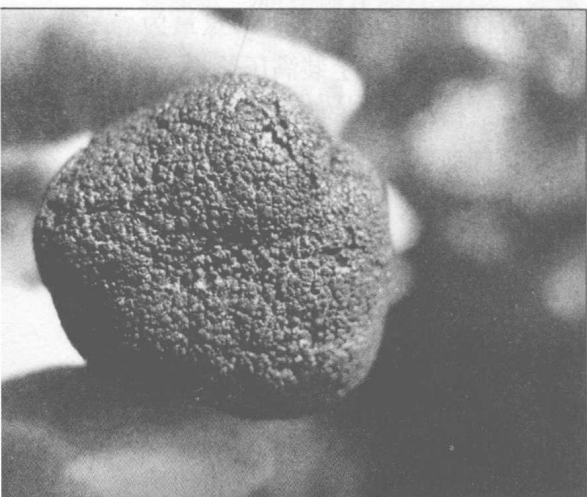
洋的矿石富含钙，而北太平洋的矿石则含丰富的硅。因此，对于锰结核的选矿和冶炼技术，必须根据不同海域的矿石特征。采取不同的流程。

锰结核的加工冶炼方法主要有以下五种：

(1) 氯化氢法。用氯化氢浸析粉碎的锰结核，经高温熔融，氯化氢与粉碎的矿石在高温条件下，能分离所有矿石物质。除铁以外，大部分金属成为可溶性金属。包含惰性硅、硫酸盐及氧化物（主要是铁的氧化物）的固体残渣作为尾矿。氯气可作为副产品回收，而氯化氢可从浸析溶液和作为再循环浸析溶液回收。采用这种冶炼法可依次得到钴、铜、镍和锰。这种方法是商业提取高纯度锰的唯一流程。它的优点是：从矿石中提取金属可获得高回收率（最高可达95%），而且不会引起严重污染。

(2) 二氧化硫煅烧和水浸析法。这种冶炼法的具体过程是这样的：将矿石在二氧化硫和空气条件下煅烧，形成可溶性硫酸盐，尔后在水中浸析。镍和钴可以由压热技术回收，钴的硫酸盐在转换成金属以前需要提纯。而遗留下来的锰的硫酸盐可以进一步处理获得铁锰。

这种方法的缺点是：硫酸盐系



深海锰结核



统很难在一个密闭循环中作业；所使用的45%的硫不能回收，从而可能引起污染问题。

(3) 氨液浸析法。此项技术是用氨液溶解矿石中的金属。这种溶液由氨液加铵盐（例如硫酸铵、氯化铵、亚硫酸铵等）组成。具体操作过程为：第一步是还原，尔后经过煅烧，不断提高温度和压力，于是便可以在还原或浸析过程中提高金属的回收率。经试验表明，采用这一流程可以回收85%或者更多的铜、镍、钴和钼。而锰和铁则残留在矿渣中。

(4) 硫酸浸析法。这一冶炼法是将锰结核在硫酸中浸析，尔后提取各种金属元素。采用这种方法回收金属的数量，取决于作业条件。例如，在低温条件下（20℃~100℃），在回收的金属中，镍不超过80%，铜——90%，钴——45%；锰的溶解量不超过10%，它大部分保留在固体残渣中。而在比较高的温度条件下（200℃），可以回收铜和镍80%~90%，钴70%~80%；大部分的铁和锰遗留在残渣中。假如将二氧化硫或硫酸亚铁加入硫酸溶液，可以使铁、锰分解，各回收97%与72%。

由于这种方法需要消耗大量的酸，大约相当于被溶解金属的10倍，

因此，此项技术不能满足商业提取的要求。

(5) 熔炼法。这种方法的第一步是将含水30%的锰结核置于类似于水泥厂的炉中烘干，炉温必须高于1000℃。在严格的条件下作业，可以依次将铜、镍、钴和铁的氧化物转变成相应的金属，而锰则保留氧化物的形式。第二步，装入温度为1300℃~1400℃的熔炉中熔炼，形成由铜—镍—钴—铁合金组成的金属相，而锰和硅以及少量的铁形成炉渣。炉渣与金属相分别回收，并用不同的方式予以处理。

含锰的炉渣经加入石灰后，在封闭条件下还原熔炼，使之转化成铁锰而被回收。熔融的金属相由于注入空气而氧化，锰和部分铁可被排出，形成第二次矿渣。加硫以后，将铜、镍和钴转化成硫酸盐。在熔融金属中注入空气，硫酸盐部分转化成金属，而铁转化成容易分离的矿渣。在这一过程中，铁仍然不能完全清除，必须采用其他的提纯步骤。假如为了提纯铜、钴和镍金属，需要采取水冶炼过程。然后再采用溶解提取技术分离铜、钴、镍。

经试验表明，这种加工冶炼方法可以回收90%的镍和铜，75%的钴，97%的锰，以及少量的钼。尽管以上几种加工冶炼方法目前还处



于原型或中间试验阶段，但是，一旦生产条件具备，就有可能迅速地发展到商业性生产规模。



无穷无尽的海洋能源

海洋不仅美丽广阔，有丰富的海洋生物资源、海洋化学资源和海洋矿产资源等，而且还蕴藏了巨大的海洋能源。那么，什么是海洋能？

海洋能不是指海底储存的煤、石油、天然气等海底能源资源，也不是溶于海水中的铀、镁、锂、重水等化学能源资源，而是指海洋自身呈现的自然能源，如大家比较熟

悉的海洋中那汹涌的波涛和永不停息的潮汐能。

21世纪的今天，以煤炭、石油、天然气等化学燃料为动力的工业文明飞速发展，人们在享受现代文明所创造的优越的物质生活的同时，能源和环境两大危机也不期而至，能源枯竭、环境污染已成为人类面临的严峻问题。

但是，人类不会坐等自己家园的毁灭，特别是在科学技术高度发达的今天，人类已经掌握了开发和利用新能源的技术，现在海洋能、太阳能、风能、地热能和氢能等5种新能源正在成为人类的重要能量来源。



海洋波浪

