

海洋开发机械系统

刘令勋 刘英贵 主编

国防工业出版社

前 言

本书中收集了近 30 年来国内外在海洋能源、海上油气资源、海水化学资源、海底矿物资源开发中的许多机械装置和系统，介绍了它们的基本原理和简单结构以及整个机械系统的设置梗概。

海洋开发机械系统通常是一种由各种机械——包括传动机械、起重运输机械、流体传动与输送机械、热能动力机械、能量转换装置、储存及输送设备，以及自动检测和控制仪表、大型海上结构物等组成，是一种多学科综合性的复杂的大系统。

参加本书编写的有刘令勋、刘英贵、李培昌、茅及愚等，由刘令勋、刘英贵主编。

由于编者水平所限，不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章	海洋资源及其开发状况	1
第一节	海洋资源概况	1
第二节	海洋能源开发状况	5
第三节	海上油气资源开发状况	8
第四节	海水化学资源开发状况	9
第五节	海底矿物资源开发进展	12
第二章	海洋开发环境	13
第一节	海水的成分与性质	13
第二节	海底地貌	15
第三节	海风	18
第四节	海浪	19
第五节	海流	22
第六节	潮汐	23
第七节	风暴潮和海啸	24
第八节	海冰	25
第九节	海洋生物	26
第三章	海洋能发电系统	27
第一节	波浪发电系统	27
第二节	海流发电系统	47
第三节	潮汐发电系统	52
第四节	海洋温差发电系统	56
第五节	浓度差发电系统	63
第四章	海上石油钻探与生产系统	67
第一节	海洋平台	68
第二节	海上石油钻井设备	88
第三节	海底管路敷设及水下作业检查系统	98
第四节	甲板机械设备	106

第五章	海水化学资源开发系统	117
第一节	海水淡化	117
第二节	海水其他资源的利用	139
第三节	海水化学资源的综合利用	149
第六章	海底矿物资源开发机械系统	153
第一节	单斗采矿系统	153
第二节	连续斗链采矿系统	156
第三节	吸扬式采矿系统	158
第七章	海洋机械常用材料与防腐	167
第一节	碳钢	167
第二节	合金钢	168
第三节	不锈钢	171
第四节	铜合金	177
第五节	铝合金	180
第六节	钛及钛合金	184
第七节	非金属材料	187
第八节	防止海洋机械结构的腐蚀	197
第八章	海洋法	205
第一节	海洋法的发展历史	205
第二节	联合国海洋法公约	208

第一章 海洋资源及其开发状况

第一节 海洋资源概况

地球上海洋面积为 $361057 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占地球表面积的 70.8%，其中深海海底占地球表面的 60%，其余 11% 左右是大陆边缘（包括大陆架，大陆坡和大陆隆等）。

世界海洋的平均水深约 3800 m，地球上共有海水 $1.3702 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，海水的储量占地球表层存水量的 97.4%，其余 2.6% 为淡水储存量。

海洋是人类食物资源的宝库，生活在海中的鱼类多达 10000 余种，其中有 1500 多种可供人类食用。据海洋生物学家推算，可供食用的海洋鱼类每年的自然生产能力约为 $10 \times 10^8 \text{ t}$ ，而大陆架和浅海渔场每年可供人类利用的生产量约有 $11000 \times 10^4 \text{ t}$ 。目前，人类所需的蛋白质有 3% 左右是从海洋中获得的。全世界每年从海洋中捕获的鱼已达 $6300 \times 10^4 \text{ t}$ ，而内陆鱼业生产量每年为 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ 左右，可见海洋渔业占渔业总产量的 86% 以上。

海洋中有取之不尽，用之不竭的自然能源，海洋能可分为三大类：

第一类是海底下储存的石油、天然气、煤等能源资源。现已查明，仅在大陆架海底的油气储量就达到 $180 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全球总储量的 20%，其中波斯湾海域的海底储量占 60%，达 $117 \times 10^8 \text{ t}$ ；北海储量占 10% 以上；墨西哥湾占 9%。海洋煤矿目前虽尚未引起人们极大兴趣，未进行系统的勘探，但在日本、加拿大和美国的岸边发现了煤矿，并开采出了煤炭。

第二类是海水中含有铀、锂、重水等化学能源资源。海水中铀的含量为 $3.3 \mu\text{g/L}$ ，整个海洋中的铀矿量多达 $(40 \sim 45) \times$

10^8 t, 是陆地储量的 1000 倍。如果把这些铀用作轻水堆的燃料, 并换算成煤的当量的话, 相当于 80×10^{12} t 煤; 假设铀适用于高速增殖堆的话, 那么, 这些铀资源量可相当于 4800×10^{12} t 煤。目前, 用重水作反应堆中子减速材料, 以及用锂和重水作为核聚变堆的燃料已经引起了人们的注意。另外, 锂又是重量轻、容量大的锂电池的原料。锂在海水中的浓度为 0.17ppm(mg/L), 是铀浓度的 50 倍, 海水中的锂资源比陆地上的储存量大 25000 倍, 估计有 2300×10^8 t。海水中的重水浓度为 158ppm。另外, 海水中还大量溶存着可作为能源的其它元素, 例如钠、钾、镁等, 但回收起来比铀还要难一些。

第三类是波浪、海流、潮汐、温差、浓度差、生物等, 以力、热、物理化学的形态存在的能源。这一类能源是依靠太阳为源泉, 所以称为可再生能源。海底地热也是一种海洋能源, 可归属于这一类。本书中所讲的海洋能仅指前者。

海流、波浪、潮汐是海水的流体力能, 也就是海水的动能和位能; 温差属于热能; 浓度差是物理化学能或电化学能(浓差电池); 生物属于生物能。对于海洋中这些能源资源的储量, 各国科学家作过一些估计和推算, 但都是非常粗略的, 表 1-1 列出了几种海洋可再生能源估算值。

表 1-1 几种海洋可再生能源估算值表

能 源	蕴 藏 量 (kW)	
	世 界	中 国
潮汐能	27×10^8	1.1×10^8
波浪能	25×10^8	0.7062×10^8
温差能	20×10^8	0.4975×10^8
海流能	50×10^8	—
浓度差能	26×10^8	1.6×10^8

以重量计, 海水中大约 96.5% 为纯水, 大约 3.5% 为溶解在水中的无机成份。无机元素含量大于 100ppm 的有氯、钠、镁、硫(常呈硫酸盐存在)、钙和钾; 含量为 1ppm~100ppm 之间的

有溴、碳、锶、硼、硅和氟，含量小于 1ppm 的有氮、锂、铷、磷、碘、铁、锌和钼等。人们已经测量海水中大约有 60 余种元素。表 1-2 列举其中 22 种元素含量。

表1-2 海水中各种元素的含量(g/kg)

矿物盐	35	铀	3×10^{-6}	镍	2×10^{-6}
氯	19	金	4×10^{-9}	镁	1.35
硫	8.85×10^{-1}	钠	10.5	钾	3.8×10^{-1}
溴	6.5×10^{-2}	钙	4×10^{-1}	锶	8×10^{-3}
硼	4×10^{-3}	碳	2.8×10^{-2}	磷	7×10^{-5}
碘	6×10^{-5}	硅	3×10^{-3}	铁	1×10^{-5}
铅	1×10^{-5}	钼	3×10^{-5}	锰	2×10^{-5}
		铜	3×10^{-6}	银	3×10^{-7}

海水中除矿物盐以外，尽管其它矿物的含量很少，但对人类的生活却有很大意义，如海水中溴含量大约为 0.0065%，但却占地壳中溴储藏量的 99% 以上。

大陆架上的砂积矿床对人们有强大的吸引力。砂矿可以分成三类：含金、铂和锡等金属的重型砂矿为第一类；含铁砂（磁铁矿）、金红石和钛铁矿的砂矿为第二类，其中金红石和钛铁矿是钛、锆石和独居石的矿石；含有宝石的砂矿，如金刚石、蓝宝石、红宝石和祖母绿等的轻型砂矿为第三类。

第一类重型砂矿一般位于离海岸很近的地方。目前最主要的有缅甸、泰国、马来西亚和印度尼西亚大陆架上的锡矿。

第二类中等重量的砂矿离海岸稍远。目前，世界上全部锆石和金红石几乎都是从澳大利亚沿岸的海砂中提取出来的。

第三类轻型砂矿在离海岸很近的地方不太可能找到。目前，仅在南非海岸边的奥兰河口地区有含金刚石的矿砂，现正在开采。

深海海底上面覆盖着大量的沉积物，也许是世界上最富的矿藏。50 年代起，美、日等国对太平洋上的多金属结核矿进行了广泛的调查和勘探。探查结果表明，在太平洋海域这些矿石的蕴藏量大约有 $16000 \times 10^8 \text{ t}$ 。在中等富集程度的结核矿区，多金属结

核可达 $5\sim 10\text{kg/m}^2$ 。这些矿区主要分布在两条宽阔的被认为可以开采的区域内，其中一个区域覆盖北太平洋的广大海域，从美国西海岸的加利福尼亚直到日本；另一个区域覆盖南太平洋的一部分，大致在法属波利尼西亚群岛和汤加海沟之间。多金属结核中，锰和铁的百分比很大，平均锰占 24%，平均铁占 10~14%。因此，往往把多金属结核称为锰结核或铁锰结核。表 1-3 为各海洋中多金属结核的平均成分。

表 1-3 各海洋中多金属结核的平均成分

矿 物	南太平洋	北太平洋	西印度洋	大西洋	最适于开采的北太平洋区	
					红粘土	柱状软泥
锰	16.61	12.29	13.56	16.18	17.43	22.36
铁	13.92	12.00	15.75	21.82	11.45	8.15
镍	0.433	0.422	0.322	0.297	0.76	1.15
铜	0.185	0.294	0.102	0.109	0.5	1.02
钴	0.595	0.144	0.358	0.309	0.28	0.25

对富钴砂矿床的调查是 80 年代才开始的。1981 年，西德和美国以太平洋夏威夷南部为对象进行了调查。结果发现富钴砂矿断断续续而又相当广泛地分布在坚硬的岩石中。日本东海大学 1985 年对北纬 $18^{\circ}\sim 22^{\circ}$ ，东经 $152^{\circ}\sim 157^{\circ}$ 的鸟岛近海水深 1300~1600 m 的四座平顶海山进行了钴结核调查，用屏斗状采泥机采集到 8 个巨砾和 300 个土状砾石。分析结果表明，巨砾以石灰岩、火山岩为核心，外部包覆数厘米至十厘米厚钴结壳，重量可达数公斤至三十公斤，金属含量分别为：钴 0.9%、锰 16.96%、镍 0.95%、钛 1.4%。

钴是一种战略性金属，具有耐热、耐腐、耐磨、高强度、强磁等性质，是电子、能源、宇航等尖端技术工业不可缺少的金属。目前，全世界每年耗钴量达 $3\times 10^4\text{t}$ ，而一座标准海山上钴结核的覆盖率约为 40%，厚度为 2cm，约储存 $500\times 10^4\text{t}$ 钴结核，若以含钴率为 1% 计算，可生产 $5\times 10^4\text{t}$ 钴，而且分布在水深 1000 m 以内的海山上，开采起来也比较容易。

第二节 海洋能源开发状况

一、温差发电

1881年法国科学家达杜伐尔提出利用海洋表层温水和深层冷水的温度差使热机做功的原理。法国人克劳德以后半生的努力从事开式循环温差发电的实用研究,1930年曾在古巴海面进行试验,但由于当时的技术条件,发出的电力尚不足以维持实验装置本身的动力消耗。1964年美国安德森父子提出闭式循环温差发电原理,其后各国的试验集中在这一方式。从70年代起,美、日等国对温差发电进行了全面的研究,投资达2亿多美元。

1979年美国夏威夷州成功地进行了Mini-OTEC漂浮式温差发电实型装置的海上发电。该装置采用氨作工质,板式钛换热器,其面积为 $37.9 \times 2\text{m}^2$,发电机额定容量50kW,扣除装置本身的用电外,尚可输出18.5kW的电力,是世界上第一个有实用价值的海洋温差发电装置。1981年日本在太平洋上的瑙鲁共和国设置世界上第一座岸式温差发电装置,装机容量100kW,当最大输出达到120kW时,电力净输出达31.5kW。

1982年日本在硫球群岛的德之岛建起一座50kW的温差电站,利用岛上柴油发电站的冷却水将表层海水升温到 40.5°C ,用370m深处的海水作冷却源,以氨作循环工质,得到18kW的净输出。

80年代,美国在夏威夷建立了“OTEC-1”海上实验装置,具有1000kW的发电能力,以氨为工质,蒸发器和冷凝器面积各为 500m^2 和 600m^2 ,采用水平壳管式结构,冷却管直径1.2m,长686m,使用聚乙烯材料。

美国能源部打算在夏威夷瓦胡岛火电厂附近建一座装机40000kW的温差电站。该电站是一个离岸的浮体,长82m,宽72m,高11.6m。1983~1984年进行了一系列的海上试验工作。

法国国立海洋开发中心计划在塔希提岛建一座5000kW的温

差电站,目前正在研究冷水管和换热器。

我国台湾地区于1982年与日本合作在实际海域曾进行过2kW温差发电试验。近年,正为建立一座装机容量为 4×10^4 kW的示范电站进行勘探、论证等前期工作。

80年代,我国广州开展“雾滴提升循环”和“开式海洋热能转换循环”两项研究,并于1986年建立了一套开式海洋热能转换实验室装置。

二、潮汐发电

本世纪60年代,开始运用现代化技术实现大规模潮汐发电。法国朗斯电站于1968年竣工,安装24台双向灯泡贯流式水轮发电机,单机容量10000kW,年发电量 5.44×10^8 kW·h,是目前世界上装机容量最大的潮汐电站。1968年苏联在白令海峡建了一座潮汐试验电站,安装了一台400kW的双向贯流式水轮机组。1984年,加拿大在芬地湾的安纳波利斯—罗亚尔已有的挡潮闸上建成一座装机容量为20000kW的试验电站,为拟建的芬地湾 400×10^4 kW的大型潮汐电站做进一步验证。

我国潮汐发电已进入实用阶段。1980年5月江厦潮汐试验电站1号机组投入运行,单机容量500kW,采用了我国自行设计研制的双向灯泡式贯流机组,1985年5台机组投入使用,总装机容量达3200kW。除江厦电站外,白沙口电站的机组也在1978年后分批安装投产。甘竹滩洪潮电站从1980年起对机组进行技术改造,使单机输出功率提高15%。1984年在福建平潭岛的幸福洋围区开始兴建装机容量为1280kW的小型潮汐电站。至今,我国共有7座潮汐电站在运行,总装机容量为9330kW。为了更大规模地利用潮汐发电,福建选出连江大官坂为站址,浙江选出三门湾健跳港为站址,正在分别进行万千瓦级潮汐中间试验电站的可行性论证。

三、波浪发电

近年来,波浪能开发研究比较活跃。60年代,日本研制成功用于航标灯的波能发电系统,这类系统的额定功率从60~500W。

1978年至1979年,日本海洋科技中心研制的“海明”号波力发电船进行了海上试验。该船上装了3台两阀式涡轮机组,额定功率为125kW,曾得到过150kW的最大输出功率。1979年下半年,“海明”号纳入国际能源机构的共同开发计划,由日、美、英、加拿大、爱尔兰五国参加,船上安装8台机组,总装机容量达到1000kW,成为世界上至今最大规模的海上波力发电站。1985年8月日本在“海明”号试验海域附近的岸边建起了一座40kW的固定波力电站,在有效波高0.8m时开始发电,有效波高为4m时输出功率达44kW。每度电的成本40日元,接近海岛柴油发电的价格。

英国对波能发电的研究也相当重视,研究了十余种波力发电系统的模型,70年代经过筛选,保留了三种系统继续研究,但目前均未进入实用阶段。

1984年挪威在卑尔根市附近的岛上同时兴建两座示范性固定式波力电站,一座为聚焦式,另一座为多共振振荡水柱式,机组容量各为500kW,均采用威尔斯涡轮机。

1988年,加拿大在纽芬岛南海岸安装了一台波力发电装置。该装置由一对圆盘组成,每个圆盘直径为34.68m,上圆盘漂浮在水面上,下圆盘通过4根柱体吊挂在上圆盘下面18.288m的地方,在波浪作用下,水面上的上圆盘来回摆动,使柱体内的活塞上下运动,液压流体驱动涡轮机,涡轮机带动发电机组发电,这种装置发电量可达1MW。

70年代以来,我国曾先后在南北水域六处进行不同型式的灯浮波浪发电试验。1985年,中国科学院广州能源研究所研制成功航标灯浮用带对称翼型空气涡轮波浪发电系统BD-101型和BD-102型,其性能达到世界先进水平,功率达60W,1987年投放中国海域使用已有25台。目前,在浙、闽、粤等省,还在进行岸式波力试验电站的论证和研建。

四、浓度差发电

1939年,R.E.帕特勒提出了以浓度差压或浓度差电池

的形式把浓度差能转换成电能的设想，并于 1954 年采用离子交换膜实现了最大发电量达 15mW 的发电输出。1973 年左右开始，随着重新认识一切能源可能性的趋势的高涨，才正式把浓度差作为一种能源来考虑，并进行试验。

杰利内克和洛布等人对采用半透膜的浓度差压发电作了基础性研究。离子交换膜和半透膜等薄膜技术以前主要是从海水淡化技术应用方面发展起来的，目前有关对能量变换技术的研究只是刚刚就绪，尚停留在小型试验和理论探讨阶段。

1985 年，我国西安研制成一座浓度差发电实验室装置。

第三节 海上油气资源开发状况

1897 年，在美国加利福尼亚的岸边，一块水深仅几米的海面上，立起了世界上第一个海上钻井装置。至 1955 年，全世界还仅有 10 个国家开采海上石油，而到 1976 年，开采海上石油的国家迅速增加到 100 个。1960 年，全世界近海石油产量为 1.94×10^8 t，占石油总产量的 10% 左右；1970 年，产量增加到 3.91×10^8 t，占总产量的 16.8%；1980 年，海上石油产量达 6.5×10^8 t，占世界石油总产量的 21.8%；到 1985 年，海上石油产量达到 7.15×10^8 t，占石油总产量的 26.74%。据预测：到 90 年代，海上石油年产量将达到 9×10^8 t 以上，到 2000 年有可能突破 30×10^8 t，将超过世界石油总产量的一半以上。

目前，海上石油开采最重要的海域有：墨西哥湾；南美的委内瑞拉、特里达尼亚和巴西的海滨；西非的尼日利亚、加蓬、刚果和安哥拉；波斯湾地区的沙特阿拉伯、伊朗和阿拉伯联合酋长国；亚洲地区的印度尼西亚、马来西亚、暹罗湾、日本海和中国渤海、东海、南海；澳大利亚；西欧的北海、切尔蒂克海、亚德里亚海和东欧的里海。海上石油产量超过 1000×10^4 t 的国家有：沙特阿拉伯、英国、墨西哥、美国、委内瑞拉、阿拉伯联合酋长国、埃及、印度尼西亚、挪威、尼日利亚、澳大利亚、马来西亚、

苏联、卡塔尔等七十多个国家和地区。

目前,在水深 150~200 m 海域开采海上石油的工程技术已日趋成熟。人们已能在 2000 m 以上的深海中钻井,能钻从式井、定向井和深井,并在地处北极的海域中进行油气勘探工作。

1965 年世界上共有海上石油钻井装置 19 座,1970 年为 190 座,1985 年已达到 811 座,15 年内增长了 3.26 倍,其中半潜式平台增长最快,从 1975 年的 5 艘,1985 年初达到 168 艘,增长了 5.72 倍;自升式平台从 1970 年的 103 艘,到 1985 年达到 455 艘,增长 3.4 倍。

到 1985 年底,全世界共打井 27171 口,海上完成水深在 1000 m 以上的油气探井有 34 口,海洋石油钻探最大作业水深可达 2120 m。

80 年代,我国海上石油事业蓬勃发展,至 1987 年为止,在我国近海的主要沉积盆地,完成了大面积的地球物理普查,在 106 个构造上钻了探井,得到了 33 个重要的油气发现。并对一批油气聚集规模较大的油气田进行了普查和钻探。目前,已有一批油气因投入开发建设,渤海埕北油田于 1986 年全面投产,年产油 16.8×10^4 t,1987 年产量达到 30×10^4 t。北部湾涠 10-3 油田 1987 年产油 30×10^4 t;莺歌海崖 13-1 气田,年产天然气 $(32 \sim 39) \times 10^8$ m³。1986 年我国海上产油为 37.5×10^4 t,1987 年达到 60×10^4 t 以上。

第四节 海水化学资源开发状况

一、海水淡化

国外从 50 年代开始研究和开发海水淡化技术,并形成相当规模的工业体系,美国在 1952 至 1981 年期间,共投资 9289×10^4 美元。这期间,海水淡化技术迅速发展,改进了传统的蒸馏淡化技术,使电渗析和反渗透法达到工业化的程度。

据 1984 年 9 月统计,世界日产量 100 t 以上的淡化装置的

总容量为 $36.2 \times 10^8 \text{ t/年}$ ($992 \times 10^4 \text{ t/日}$)，其中蒸馏法占总容量的 75.1%，反渗透法占 20%，电渗析法占 4.9%。从地理分布来看，总容量的 62% 是在缺水严重而能源丰富的中东阿拉伯国家，仅沙特阿拉伯容量就有 $10.95 \times 10^8 \text{ t/年}$ ($300 \times 10^4 \text{ t/日}$)，科威特和阿拉伯联合酋长国全国使用的淡水几乎都是淡化海水，其容量分别为 $3.7 \times 10^8 \text{ t/年}$ 和 $3.77 \times 10^8 \text{ t/年}$ 。

我国海水淡化研究从 1958 年开始，研制生产船用蒸馏淡化装置几百台，安装在各种军民舰船上。1981 年，在我国西沙永兴岛建成了日产 200 t 淡水的电渗析海水淡化站，这是目前国内最大的海水淡化装置，也是世界上同类装置最大之一。这台 DHD-200 型淡化装置采用两组 10 级连续式工艺流程。第一组各级分别含有 300 对阴阳离子交换膜；第二组各为 200 对。装置中选用了新型的钛涂钨电极，并采用高速水流冲刷和定期倒换电极的方法。该站制取的淡水含盐量达到 500mg/L 以下。

二、海水晒盐

世界上食盐消费量的三分之一是从海水晒制的。目前，每年由海水晒制的晒制盐产量为 $6000 \times 10^4 \text{ t}$ 左右。我国是生产海盐最多和最早的国家，公元前 2200 年就开始从海水中提取食盐。我国目前盐产量的 80% 是海盐，约 $1350 \times 10^4 \text{ t}$ 。

建国初期，我国海盐盐田面积仅有 9×10^4 公顷，目前已发展到 34×10^4 公顷。盐田主要分布在北方海岸沿线。

日晒盐还是印度、日本、土耳其、菲律宾等许多国家和地区食用盐中最重要的部分。美国所有消耗的食用盐，大约 5% 是在旧金山湾用日晒蒸发的方法生产的，那里从 1852 年就开始生产晒制盐，年产量大约 $120 \times 10^4 \text{ t}$ 。瑞典和苏联等国家，是通过使海水结冰从中提取盐。由于所形成的冰几乎是纯粹的水，所以经过过滤后，剩下的便是盐水，再连续进行几次“冰炼”，盐水浓缩到足以应用人工热使它蒸发至干的程度，便得到结晶盐。

三、海水中提溴

1924 年法国从制盐母液中得到了元素溴，1934 年美国海水

提溴获得成功。以后，海水提溴工业发展很快，法国、日本、阿根廷、加拿大等国家和地区都建立了海水提溴工厂。目前，世界各国生产的溴绝大部分是从海水提取的，少数国家从海盐苦卤中提取溴。表 1-4 列出了部分国家的产溴量。

表 1-4 部分国家的溴产量 (t/年)

年份 \ 国别	美国	英国	日本	法国	西德
1963	125000	22000	3556	5200	2500
1975	189000	31300	11800	14200	5300

四、海水提铀

日本是世界上第一个开发海水铀源的国家，经过 10 多年的研究和实验，已进入小规模生产阶段。1981 年投资 35 亿日元在香川县仁尾町兴建海水提铀工厂，该厂自 1986 年 4 月投产以来，已生产 3.6 t 含铀 0.28% 的黄色液体。1978 至 1983 年间，利用高效有机吸附剂提铀的技术出现了重大突破，研制出 AHP 凝胶树脂和偕胺肟型整合树脂。偕胺肟型纤维吸铀量达到 $4800\mu\text{g/g}$ 。利用氢氧化钠和活性炭混合制成的吸附剂效果也较好。日本用这种吸附剂吸铀量已达到 $300\mu\text{g/g}$ 。据报道，日本已培养出一种吸铀能力很强的小球藻，这种生物富集法选择性好，经济方便，是一种很有前途的吸铀方法。1984 年，日本生产的 10kg/年提铀装置正式投产。计划到 2000 年以前建立年产 1000 t 铀的海水提铀工厂，共投资 5000 亿日元。

五、海水提钾

60 年代开始研究从海水中提钾技术，多采用吸着法。1975 年，我国采用天然沸石提钾，其吸钾量达到 16mg/g 。山东海洋学院研究出用半结晶水的磷酸氢钛吸着剂进行海水提钾，吸着量达到 38mg/g 。1983 年我国首次设计了价格低廉的“半冠醚”型有机分子用于海水提钾，实验表明，这类分子通过沉淀转化反应，可富集并分离海水中的钾离子，而且可完全排除海水中 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 等大量离子的干扰，效果很好。

第五节 海底矿物资源开发进展

目前,世界上96%的锆石、90%的金红石、90%的金刚石、80%的独居石、75%的锡石、30%的钛铁矿采自海滨的砂矿。日本、英国和加拿大等国已开采海底煤矿,年产达几千万吨。1959年英国从海中开采的砂土和砂砾有 $390 \times 10^4 \text{ t}$,而1971年达到 $1350 \times 10^4 \text{ t}$,12年中增加了3倍。

深海海底最引人注目的资源之一是多金属结核。60年代起,日本、美国、西德等国对深海多金属结构资源进行了广泛的调查,80年代以来又开始进行了采矿和冶冻方法的研究。

1970年,美国田纳西公司的分公司研制成水力型锰结核采集器样机,成功地在762m水深处进行了采掘试验,并采用气动提升系统,采矿船从海底掘起大量的锰结核。

1981至1989年间,日本投资200亿日元研究锰结核开采技术,研究内容包括采矿船、采集器、结核提升系统和冶冻技术。1982年2月正式成立了锰结核开采系统研究会,有17家公司参加。

1983年由美国、日本、西德、英国、法国和加拿大等国为主的八个国家的民间企业组成四个国际财团,进行了矿区调整工作,并就六个矿区开发夏威夷海域的锰结核达成协议。

法国海洋开发研究院和法国原子能研究中心等单位联合研制新型PLA₂-6000号深海多金属结核采集器,于1987年10月在土伦外海首次试验获得成功。这种自重1.5t的自动采集器可自动下潜到达预定水深6000m,沿海底航行采集多金属结核,然后使用泵吸提升系统将结核输送到采矿船。

我国国家海洋局和美国雷声公司(Raytheon Ocean Systems Co.)合作研制成功海洋声学遥测系统,装于向阳红16号科学调查船上。1986年在北太平洋上用来进行锰结核探测试验,其分辨率达到75%,为大洋锰结核调查提供了一种快速的调查仪器。

第二章 海洋开发环境

海洋环境包括海洋化学环境、物理环境、地质和矿物环境,以及生物和生态环境等。

海洋化学环境主要是指海水的成分和性质。

海洋物理环境主要是指波浪、流、风、温度、冰、潮汐、风暴潮、内波、海啸等。

海洋地质和矿物环境因素是指地貌、海岸演变、沉积、地热、构造地质、地震、混浊流、火山、水下塌落和滑坡等。

海洋生物和生态环境是指鱼类、食物链、海藻以及其他海生物等。

第一节 海水的成分与性质

一、海水的成分

海水中溶解有大量的无机成分,如表 1-2 所示。海水中的元素实际上总是以化合物形式存在,其中,含钠和钾的化合物非常稳定,其它含有硅和锰等的化合物则相对不稳定。

海水中还溶有氮、氧和二氧化碳等气体以及少量的氦、氖、氩、氪、氙等惰性气体。在海面的水中,氧的浓度与海水的温度有关,温度越高,气体溶解度越低。由于生物活动的结果,在海面以下几百米处常存在氧含量最少的水层,或称贫氧层。

海水中存在的二氧化碳的浓度比大气中高得多,海水中溶存二氧化碳的量与氢离子浓度 pH 值、温度和盐度有关系。若保持 pH 值不变,提高盐度,降低温度,二氧化碳总量就会增加。

二、海水的性质

1. 盐度