

科学丛书《海洋的未来》之二

# 深海取宝

吕文超 编著

上海科学技术文献出版社

封面设计 周海鸥

科学丛书《海洋的未来》之二

深 海 取 宝

吕文超 编译

\*

上海科学技术文献出版社出版

(上海高安路六弄一号)

新华书店上海发行所发行

上海市印刷十二厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/32 印张: 5.5 字数: 125,000

1979年11月第1版 1979年11月第1次印刷

印数: 1—70,500

书号: 13192·2 定价: 0.58 元

(科技新书目 133—103)

133 103

## 序 言

早在童年的时候就听人们讲述过许多关于“水晶宫”的故事，说是在大海的深处，有一座晶莹碧透的宫殿，里面住着龙王爷爷，还有许多虾兵蟹将。宫中到处是奇珍异宝，五光十色，琳琅满目……。还说是在很远很远的地方，在一座很高很高的山顶上，有一把金钥匙。谁若有勇气、有本事，能爬上这座高山，得到这把钥匙，他就可以自由进出“水晶宫”，官中的一切就都是属于他的了。

童年时代憧憬的幻境当然是没有的，然而，随着科学技术的发展，人类对客观事物的认识也在不断地提高、深化。一座真正的、广袤无垠、蕴藏丰富的宝库却是切切实实地摆在我们面前，这就是大海。打开这座宝库大门的钥匙就是现代科学技术，只要掌握了它，大海中的一切就都可以听任我们的摆布了。

在海水中生活着鱼虾贝藻；海底上裸露着铁锰结核；地下蕴藏着石油、铁、煤等矿藏；海水中含有近八十种元素；海水本身就是淡水取之不尽的源泉；海水中还蕴藏着巨大的能源……。大海中的宝藏真是太丰富了，简直是取之不尽，用之不竭！

科学丛书《海洋的未来》之二《深海取宝》讲述的就是关于这些资源的开发、利用及其发展趋势。

丛书之一《深海遨游》已于1979年4月出版。主要是介绍向深海进军的历史及水下工作站、水下实验室、潜艇等的发展及现状。

丛书之三《深海乐园》重点介绍了征服海洋的科学幻想，提

出了建造海上城市、游动城市、水下城市的设想，为人类征服海洋描绘出一幅绚丽的远景图画。

本书主要是根据 Gottfried Kurze 所著的《Zukunft Weltmeer》一书编译的。

本书承蒙中国科学院海洋研究所金翔龙，周仲怀、史升耀、马锡年、杨纪明等同志审阅，谨此致谢！

编译者

1978 年 12 月于青岛

# 目 录

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 序言.....             | ( I ) |
| 海洋宝库.....           | ( 1 ) |
| 原料与海水 .....         | ( 2 ) |
| 建筑材料、金属砂矿和宝石 .....  | (12)  |
| 深海取矿石 .....         | (22)  |
| 水下矿山 .....          | (28)  |
| 海底石油与天然气.....       | (32)  |
| 里海中的钻岛 .....        | (37)  |
| 半潜式平台和钻探船 .....     | (45)  |
| 探测器、机器人和卫星 .....    | (53)  |
| 海中加油站 .....         | (62)  |
| 海水淡化.....           | (72)  |
| 蒸发、减压和蒸馏 .....      | (74)  |
| 超过滤和电渗析 .....       | (83)  |
| 冰冻法、离子交换法和水合法 ..... | (88)  |
| 副产品与核能 .....        | (90)  |
| 潮汐能.....            | (99)  |
| 潮汐发电站.....          | (101) |
| 温差流.....            | (112) |
| 波浪能.....            | (117) |
| 冰洋上的发电站.....        | (123) |
| 氢能.....             | (125) |
| 海洋的生物资源 .....       | (128) |

|                |       |
|----------------|-------|
| 藻类——未来的原料..... | (129) |
| 琼胶和褐藻胶.....    | (135) |
| 藻类养殖.....      | (142) |
| 浮游动植物工厂.....   | (147) |
| 海洋动物的驯养.....   | (154) |
| 牧鱼.....        | (159) |
| 牡蛎养殖.....      | (165) |

## 海洋宝库

虽然人类对于海洋中某些原料的利用已有几千年的历史，但是，它与航海和捕鱼相比都还算是很年青，很次要的。直到近30年来，人类对于开发海洋这座原料宝库的兴趣才越来越高涨了。在对各种原料的需要量日益提高，对海洋矿产的了解不断深入的情况下，人们正在向着更深的领域探索。另外，由于近年来科学技术正在以惊人的速度朝着实现这一计划的目标前进，而这个计划在二十年前几乎还是不可想象的，即使有，从经济的观点考虑也纯属空想。可以肯定，在今后几年、十几年内，对世界海洋资源的利用必将会有更大的进步。

对于海洋中储存原料数量多少的问题，现在已经能够作出初步回答了，可以部分的分开来进行估计和计算，并且在不久的将来，通过已经开始了的和将要进行的国际间的和各国自己的研究，作出进一步精确的计算和补充。从后面的表中我们可以看到海中的矿层、其中的原料以及海水中不同元素的浓度。采掘量的价值（见表）清楚表明，现在从海洋中提取原料已经具有令人注目的意义了。这就意味着不但要提取在海水中溶解的原料、在海底上裸露的或是上面有东西覆盖的矿物，而且也要开采在海底下面更深的深度中埋藏的宝藏。每当人们想到从海洋中提取的某些原料可以满足人们需要量的30%~90%时，人们对海中原料的追求就更迫切，更积极了。

### 海洋矿层的形式及其所含的矿物表

| 海水中溶解的                                                                | 在海底上的                                                                                                                              |                                                                                             | 在海底以下的                                                           |                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                       | 裸露的                                                                                                                                | 覆盖的                                                                                         | 矿床露头的                                                            | 矿床不露头的                                                                                    |
| 金属和由下列元素组成的盐：<br>钠<br>镁<br>钾<br>钙<br>溴<br>硫<br>锶<br>硼<br>铀<br>还有51种元素 | 海洋砂矿层和砂积矿层：<br>重矿物<br>铁矿石<br>硅酸盐和硅砂<br>砂<br>鹅卵石（黄铁矿）<br>凝结核：<br>锰结核含有锰、钴、镍、铜<br>磷钙石结核和砂<br>海绿石砂<br>深海矿层：<br>深海红粘土含石灰质的，含硅质的，含金属的矿泥 | 被覆盖的砂矿层和流动矿层：<br>金刚石<br>金<br>铂<br>锡石<br>磁铁矿<br>钛铁矿<br>金红石<br>锆石<br>独居石<br>铬铁矿<br>白钨矿<br>黑钨矿 | 露头的分层矿：<br>煤<br>铁矿石<br>石灰石<br>氧化结壳区<br>含钴和镍的氧化锰<br>铜<br>磷<br>磷钙石 | 矿体（分散的），矿脉形的或矿层形的矿：<br>煤<br>铁矿石<br>锡石<br>金<br>硫<br>金属硫化物和盐<br>在砂岩中的，在石灰石中的，在白雲石中的，石油和天然气矿 |

## 原料与海水

在我们这个地球上存在着约 14 亿立方公里的海水，在这些海水中约溶解有  $5 \times 10^{16}$  吨化学元素。据有人计算，若是把这些物质全提取出来堆在陆地上，会使地面升高 1,500 米。平均 1 立方公里的海水中就要含有 35.7 百万吨的化学物质。海水中溶解的物质主要是盐，其组成成份中主要是氯和钠（食盐）；其次是硫（以硫酸盐形式存在）、镁、钙、钾、碳（以二氧化碳形式存在）、

### 从海洋中提取金属的价值(1969年)

| 矿 物                  | 价格(百万马克) |
|----------------------|----------|
| 海水中的:                |          |
| 盐                    | 692      |
| 镁 金 属                | 300      |
| 淡 水                  | 204      |
| 溴                    | 180      |
| 镁 化 物                | 164      |
| 重水(D <sub>2</sub> O) | 108      |
| 其 他                  | 4        |
|                      | 1652     |
| 海床上的:                |          |
| 砂和鹅卵石                | 400      |
| 贝 壳                  | 120      |
| 锡                    | 96       |
| 重金属砂                 | 52       |
| 金 刚 石                | 36       |
| 含 铁 砂                | 16       |
|                      | 720      |
| 海底以下的:               |          |
| 石油和天然气               | 24400    |
| 硫                    | 104      |
| 煤                    | 1340     |
| 铁 矿 石                | 68       |
|                      | 25912    |
|                      | 总计28284  |

溴和硼(以硼酸形式存在)。这些在海水中存在的高浓度化合物占海洋中含有盐类的 99% 以上。化学分析证明, 海洋中含有 80 多种元素。它们在盐类组成成份中所占的部分非常小(约为 0.5%), 所以也称为微量元素。另外我们也可以认为, 凡是在陆

地上所有的元素,在海中也都可以找到。

海水中溶解的原料绝大部分目前还没有实用价值,因为这些元素有的可以在陆地上用大家熟习的方法取得,而且价钱还更便宜,也够用,所以就没有必要一定要从海中提取了。现在许多国家已经从海中提取的原料主要有氯、钠、镁和溴。

从海水中制盐大概至少也要有5,000年的历史了,因为人们已经可以肯定,早在山顶洞人时期人类就知道利用海盐了。在埃及(公元前2850~2550年)的所谓金字塔文字中,有关于“atr”(一种氢氧化钠)的句子,它是钠盐的一种混合物,是用蒸发海水的方法制取的。在公元前2200年,我国的劳动人民已经可以从海水中系统的生产食盐了。在那些气候条件允许的地方,一千多年以前人们就开始用这种方法从海水中制盐了。现在盐田制盐已经相当普遍,首先在那些气候炎热、干燥的沿海国家(地中海沿岸国家、西班牙的大西洋沿岸、印度、中国、日本、非洲、中美洲等),也有部分是从内陆盐湖或内陆海水中制取的。例如,在克里米亚的耶夫帕脱利亚盐田用蒸发法从海水中制取食盐,每年生产40,000吨之多。就世界范围来说,陆地上的盐矿占总产值的大部分,在盐场中晒制的或用技术结晶装置从海水中制取的

海水中不同化学元素的浓度

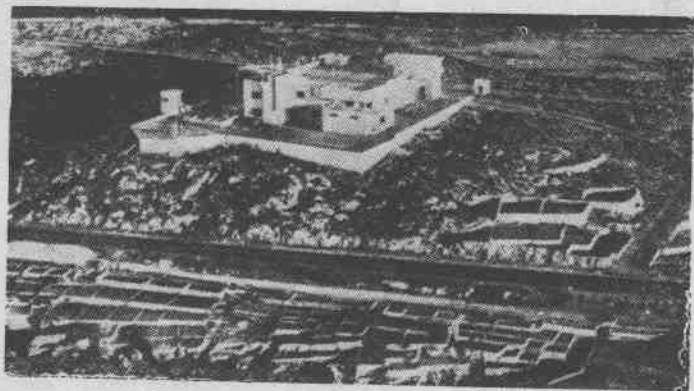
| 元 素 | 海水中的浓度<br>毫克/升 | 海水中的总量<br>吨            |
|-----|----------------|------------------------|
| 氯   | 19000.0        | $29.3 \times 10^{15}$  |
| 钠   | 10500.0        | $16.3 \times 10^{15}$  |
| 镁   | 1350.0         | $2.1 \times 10^{15}$   |
| 硫   | 885.0          | $1.4 \times 10^{15}$   |
| 钙   | 400.0          | $0.6 \times 10^{15}$   |
| 钾   | 380.0          | $0.6 \times 10^{15}$   |
| 溴   | 65.0           | $100.0 \times 10^{12}$ |

续上表

|         |                       |                       |
|---------|-----------------------|-----------------------|
| 碳       | 28.0                  | $40.0 \times 10^{11}$ |
| 锶       | 8.0                   | $12.0 \times 10^{11}$ |
| 硼       | 4.6                   | $7.1 \times 10^{11}$  |
| 硅       | 3.0                   | $4.7 \times 10^{11}$  |
| 氟       | 1.3                   | $2.0 \times 10^{11}$  |
| 氫       | 0.6                   | $930.0 \times 10^9$   |
| 氮       | 0.5                   | $780.0 \times 10^9$   |
| 锂       | 0.17                  | $260.0 \times 10^9$   |
| 铷       | 0.12                  | $190.0 \times 10^9$   |
| 磷       | 0.07                  | $110.0 \times 10^9$   |
| 碘       | 0.06                  | $93.0 \times 10^9$    |
| 钡       | 0.03                  | $47.0 \times 10^9$    |
| 铟       | 0.02                  | $31.0 \times 10^9$    |
| 锌、铁、铝、钼 | 各0.01                 | 各 $16.0 \times 10^9$  |
| 硒       | 0.004                 | $6.0 \times 10^9$     |
| 锡、铜、砷、铀 | 各0.003                | 各 $5.0 \times 10^9$   |
| 镍、钒、锰   | 各0.002                | 各 $3.0 \times 10^9$   |
| 钛       | 0.001                 | $1.5 \times 10^9$     |
| 铈、钴、铯   | 0.0005                | $0.8 \times 10^9$     |
| 铈       | 0.0004                | $0.6 \times 10^9$     |
| 钇、银、镧、氦 | 各0.0003               | 各 $5.0 \times 10^8$   |
| 氟、镉、钨、氩 | 各0.0001               | 各 $150.0 \times 10^8$ |
| 锆       | 0.00007               | $110.0 \times 10^8$   |
| 铬、钍     | 各0.00005              | 各 $78.0 \times 10^8$  |
| 钪       | 0.00004               | $62.0 \times 10^8$    |
| 铅、汞、镓   | 各0.00003              | 各 $46.0 \times 10^8$  |
| 铋       | 0.00002               | $31.0 \times 10^8$    |
| 铌、铈     | 各0.00001              | 各 $15.0 \times 10^8$  |
| 氦       | 0.000005              | $8.0 \times 10^8$     |
| 金       | 0.000004              | $6.0 \times 10^8$     |
| 镭       | $1 \times 10^{-10}$   | 150.0                 |
| 氢       | $0.6 \times 10^{-11}$ | $1 \times 10^{-3}$    |

盐约占世界盐总产量的30%。

具有现代化设备的海盐厂可以生产相当纯的食盐，不用再制就可以直接包装运往市场出售。在盐湖或港湾沿岸用坝和长方形的池圈成一个大的、平坦的狭长地带，用泵抽入海水。海水在混凝土池中，靠太阳的热量分级蒸发，由一个池倒入另一个池，溶液浓度不断提高。如果浓度达到饱和，就把饱和盐溶液倒入结晶池，继续蒸发，析出食盐。为生产一定量食盐所需要的蒸发池面积大小是不一样的，基本上是由气候条件决定的。据有人计算，每公顷的蒸发表面积，每年能生产 300~500 吨食盐。从



黎巴嫩的现代化盐场。前面是晒盐池，利用太阳光照射把海水晒成盐卤。

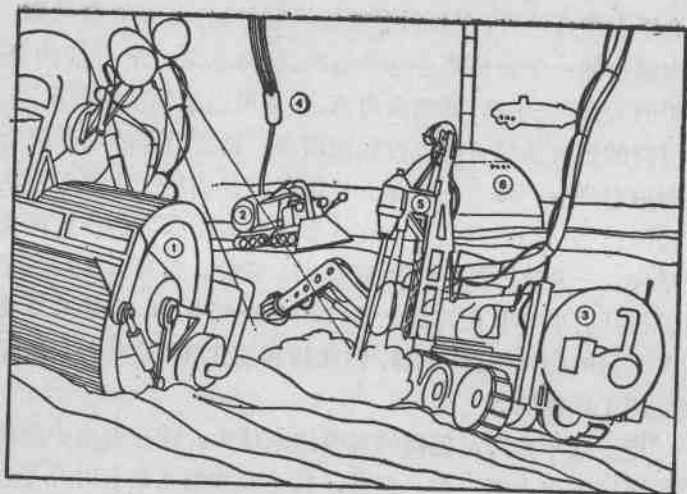
海水中制得的食盐，在精制设备中，按通常方法再行精制。用热蒸汽和抽真空的方法，在一个多级程序中，把盐水中的残余水份再蒸发出去。这种类型的第一套设备是 1852 年在旧金山建成的。

除食盐外，还有钾盐、镁盐及溴等其他一系列产品，在那些盐浓度特别高的沿海和盐湖地区到处都可以制得。比如在印度

西海岸大库奇兰恩、在加利福尼亚的塞尔湖、在萨克斯考耶、在黑海附近的一个湖里都是这种情况。黑海东岸一个 18,000 平方公里的大海湾-科拉-博嘎斯海湾,在这里由于强烈的蒸发,不利于沉淀的热气候使得盐浓度猛烈增高,设在沿岸的化学联合企业利用它来生产贵重的产品。提取化学品的另一个例子是在死海边的巴勒斯坦约旦河谷。在这里由于太阳强烈的照射使盐浓度增大。一升这样的“水”中溶解 271 克盐。在死海这块狭窄的地方估计含有 220 亿吨氯化镁,120 亿吨氯化钠,60 亿吨氯化钙以及大量的铷化物、铯化物、钴化物和锰化物,这些都已由岸边设立的工厂提取。

近十几年来海水提镁的规模越来越大。镁在海水中溶解物质的顺序表中占第三位。但是,氯元素和钠元素有时几乎占海水的 2% 或 1%,而镁在海水中却仅占 0.13%。谁若是想从海水中提镁,他的处境就象把一升烧酒倒在 200 升水中稀释,他又要饮水达到酒醉的程度是一样的难于实现。每立方公里的海水中含有 130 万吨镁,谁要想把它提取出来,就必须加工这 1 立方公里的 10 亿吨海水。

第一吨镁是按着英国的方法从海水中提取的。经过了许多次的尝试,化学家和有经验的技术人员终于找到了一条较经济的道路。1927 年在旧金山沿岸,十年以后在纽马克,第一批水菱镁工厂投产了,它的“矿石”就是太平洋的海水。在第二次世界大战期间对镁的需要量猛增,制造一架飞机就要用 0.5 吨镁来制成合金。1941 年在墨西哥湾沿岸的弗里波特,1942 年在贝拉斯科,年产 18,000 吨和 32,000 吨镁的大型设备建成了。因为在美国陆地上的储量很小,所以从海水中提镁的新设备越来越多。1944 年有六家水金属工厂年产量达到 290,000 吨镁,1945 年以后,美国年产量降到了五十年代初期的水平,只有 10,000 吨左

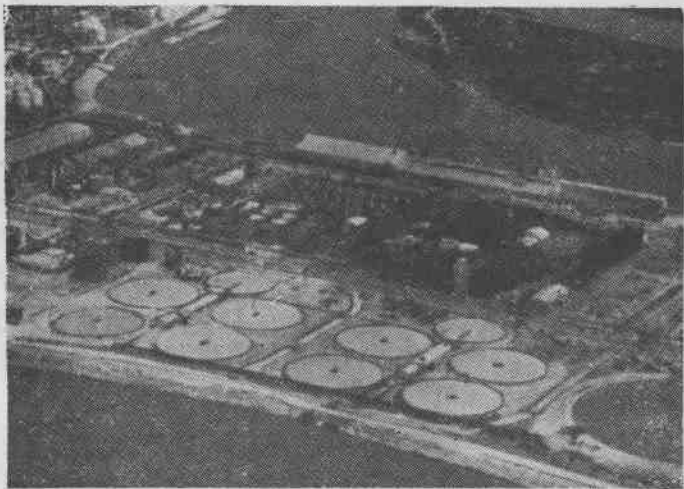


### 海洋中的矿山

1. 海底车：在海底铺设电缆和供应导管，用底网和锚来防止破坏，由海面上的一艘船牵引。有一个喷射器，它是通过高压喷嘴压到海底的，这个喷射器可以使这些东西都“液化”，这样电缆和软管自己就会沉到海底。
2. 锰结核单管输送机：它是由在水面上的一个浮动平台组成的，平台停留在海底矿石收集器的垂直上方。象吸尘器一样，锰结核由第一台车进到第二台车的供料漏斗。用高压水泵使其通过软管运到水面上，由运矿石的车运走。
3. 地下分级输送机：使用的最深深度是5,000米。所属的水下车是由一个带链传动的基座、一个可动的吸管托架和一个上部结构组成。上部结构包括有操纵部分和观测设备。运输物进入吸管，经过一个可变形的弯头和一个摆动设备进入提升管。
4. 上述三种方法中所特殊的就是在通向水表面的管道中间，要设一个中间站。这个500米深的，悬挂在水中的中间站是处在正常的大气压力下。矿物顺着连通的管道全部流到站上。再用一台泵把矿石从中间站运到水表面，由矿车运走。
5. 在研究水下矿层时也使用了水下拖拉机，它可以在海底直接进行勘探钻孔。
6. 也可以在海底建立海洋矿山，在海洋中开采矿物。可以乘钢球进入深海沟，矿山有一个尖塔与水表面相连，里面装有采矿设备。主要设备都是处于正常压力下，然后用管道伸向海底，其他就都是按陆地上一样的方法来开采矿石。

右。在朝鲜战争期间产量又有回升。

这期间，镁作为合金的基础材料，在所有工业国家中占据着重要的地位。由于它性能良好，即便是在将来，这个地位也不会失去。事实上，现在美国、苏联、英国和日本镁产量的45%以上都是从海水中提取的。从海水中提取金属这条路已经成了近乎经典的方法，这种方法已经可以与从岩盐-钾盐工业提镁的传统方法进行卓有成效的竞争。



从海中提镁的原料为海水和贝壳，沿岸镁厂的特点就是要有一个大水池，在这个池中用氯化镁生产氢氧化镁。

在弗里波特使用的方法是通过一条运河把水运到加工厂，用泵把水打到一个大容器中，再往海水中加石灰乳，石灰乳是从岸边的贝壳浅滩中制取的。由氯化镁——在这种形式下与海水中的镁化合并溶解——生成氢氧化镁，氢氧化镁不溶解于水，可用一个大的滤器把它从水中滤出来。在滤器上出现氢氧化镁积层的时候，就要用压缩空气把它吹下来，收集装箱运走。用10%

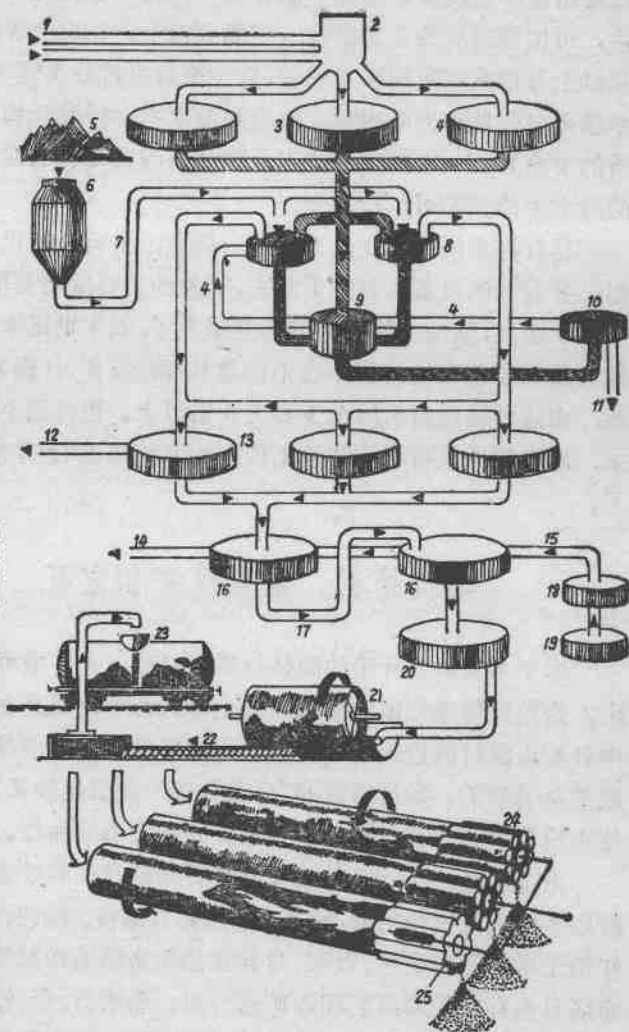
的盐酸再从氢氧化镁中制取氯化镁，再用天然气不断地“煮”，使其蒸发，浓缩。把粥状物放入干燥炉，加热干燥后的氯化镁最高还能含有 $\frac{1}{3}$ 的结晶水。在另一个干燥炉内继续用天然气加热，把剩下的水排掉。象制铝一样，粉碎以后，通过溶剂电解无水氯化镁，生成氯和镁，液体金属还可以撇渣。

1825年法国化学家巴拉得在地中海的海水中首先证明了有溴存在，并指出了海洋是一个取之不尽的天然宝库。从1926年开始人们就从旧金山湾的海水中提溴，用这里海水盐厂沉淀的母液作原料来提取食盐和溴。特别是近三十年来生产手段的机械化，才使得在海水中仅含0.015%的非金属具有提取价值。由于生产抗震剂要以二溴乙烷作基本原料，所以对溴的需要量在急剧增加，少量地加入能够提高气化燃料的辛烷值。自从加利福尼亚沿岸的设备建成以后，在美国、苏联、日本和其他国家都相继建立了这类工厂。1938年在大西洋沿岸的北卡罗林纳州建立了一座年产20,000吨溴的工厂，1940年在得克萨斯沿岸的弗里波特建立了一座年产15,000吨溴的工厂。今天世界上80%的溴都是由海洋沿岸的水工厂生产的。

和镁一样，在大洋的水中，钾和钙的储量都是处于同一个数量级。生产这种元素的几套比较小的设备分散在苏联沿海、死海沿岸和荷兰。荷兰硝酸钾(甲硝)的年产量是17,000吨左右。为了寻求大规模提取海水中溶解的另外30余种元素的经济、有效的方法，各国的实验室都在努力探索。对于海水提铀就研究得更多了，同时对于这方面技术上的每一点进步都应给予足够的重视。

在15亿立方公里的海水中含有50亿吨左右的铀。分开来算，每升海水中只含有4.0~3.3%克。海水中含有如此微量的铀，它既不可能当做金属，也不可能作为难溶的化合物沉淀或

1. 进海水管; 2. 分泵站; 3. 水选池; 4. 溢流; 5. 自然矿床中的石灰(贝壳); 6. 烧石灰库;  
7. 无盖连续输送机; 8. 第一反应池; 9. 第二反应池; 10. 废料排除; 11. 废水排除; 12. 向海溢流;  
13. 浓缩槽; 14. 冲洗水排除; 15. 冲洗用的淡水; 16. 洗淨器; 17. 冲洗水溢流; 18. 淡水箱;  
19. 淡水预处理器; 20. 厚矿泥库(氢氧化镁); 21. 真空过滤器; 22. 螺旋输送机; 23. 氢氧化镁装箱;  
24. 天然气加热的管式转炉; 25. 方镁石(粉末状成品)。



海水提镁(模式图)