

海水化学资源的综合利用

周 仲 怀

(中国科学院海洋研究所)

海洋覆盖了地球表面积的70.8%。地球上的水有96.6%是海水。海洋的平均深度近4千米。据计算海水的总体积为 1.37×10^{18} 米³，总重量为 1.4×10^{18} 吨。

浩瀚的海洋，蕴藏着大量的宝贵物质，陆地上存在着的天然元素大部份也存在于海水中，仅就目前所知，海水中已有近80种元素(见表1)。如果把溶解于海水中约3.5%的元素提取出来积于陆地表面，其平均厚度可达1,500米，实在惊人!

海水化学资源的利用始于制盐。它不仅可制盐，而且还可提取各种工业原料、化肥和农药等所需要的化学元素或其化合物。如：炼钢、炼镁等工业所需要的镁，石油、医药等工业所需要的溴，工农业上都很需要的钾，国防、陶瓷等工业所需要的硼，水泥工业所需要的钙，以上几种占整个海水溶存元素的99%以上；还有一些含量更低的元素，其相对量虽小，但就海水总体而言，其总量也是很大的(见表2)。例如：海水是一个巨大的液体铀矿，每升海水虽只含铀 3.34×10^{-6} 克，但其总量约有45亿吨，约为陆地上铀矿储量的2,000—3,000倍，因此，作为新的铀资源来说具有重要的意义。又如碘，是医药等工业上的重要原料。近年来，随着对碘需要量的增加，进一步发现碘的新资源和增加碘的生产就成为当务之急，而海水中的碘含量以60微克/每升海水算，总量有800多亿吨，比陆地各种碘资源的总和还要大得多。因此，自力更生，开展海水提碘的研究，对发展碘的生产具有极其重要的意义。

锂在每升海水中的含量为170微克，总量为2,400亿吨，每升海水中的重氢约3毫克，总量为42,000亿吨，其量之大，真是取之不尽，用之不竭。表3列出了每年处理 3.5×10^{10} 吨海水中含有的元素量，从表中前11种元素的可能产量来看，都在千吨以上，其量实在可观。

海水中储藏这样大量的重要化学资源，它是地球上最大的液体矿藏。海水化学资源自古以来就引起了人们的重视，海水制盐工业已有几千年的历史，随着各国工业的迅速发展，对各种资源的要求也越来越迫切，而海水化学资源的利用又是整个海洋资源的重要组成部分。由于各国存在着自然资源贫富的差别，尤其是资源缺乏而又靠海的国家都在积极进行海水化学资源综合利用的研究工作。

同时海水化学资源综合利用还涉及到海洋化学领域内的各个学科，是一门综合性很强而又年青的科学。它与海洋地球化学、海洋无机化学(包括海洋放射性元素化学)、海洋分析化学、海洋物理化学等学科都有关。因此，开展海水化学资源综合利用的研究，无疑将促进海洋化学领域内各学科的发展。新学科的出现和新技术的产生是海水化学资源综合利用的必然结果。随着我国国民经济的发展和今后22年内实现四个现代化的要求，海水化学资源的综合利用必将越来越显示出它的重要性。

海水化学资源综合利用的方法

海水化学资源的综合利用系指以海水为直

表1 海水中化学元素含量及存在形式

元 素	元素含量 (微克/升)	在海水中存在的化学形式	元 素	元素含量 (微克/升)	在海水中存在的化学形式
H	1.1×10^8	H ₂ O	Nb	1×10^{-2}	—
He	7×10^{-3}	He(气体)	Mo	10	MoO ₄ ⁻²
Li	1.7×10^2	Li ⁺	Ag	0.3	AgCl ₂ ⁻
Be	6×10^{-4}	—	Cd	0.3	Cd ⁺²
B	4.5×10^3	B(OH) ₃ , B(OH) ₄ ⁻	In	<20	H ₂ O
C	2.8×10^4	HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻²	Sn	0.8	—
N	6.7×10^2	NO ₃ ⁻	Sb	0.3	—
O	8.8×10^8	H ₂ O, O ₂ , SO ₄ ⁻²	I	60	IO ₃ ⁻ , I ⁻
F	1.3×10^3	F ⁻	Xe	5×10^{-2}	Xe(气体)
Ne	1.2×10^{-1}	Ne(气体)	Cs	0.3	Cs ⁺
Na	1.1×10^{-7}	Na ⁺	Ba	20	Ba ⁺²
Mg	1.3×10^6	Mg ⁺²	La	3×10^{-3}	La(OH) ₃ [°]
Al	1	—	Ce	1×10^{-3}	Ca(OH) ₃ [°]
Si	3×10^3	Si(OH) ₄ , SiO(OH) ₃ ⁻	Pr	0.6×10^{-3}	Pr(OH) ₃ [°]
P	90	NPO ₄ ⁻² , H ₂ PO ₄ ⁻ , PO ₄ ⁻³	Nd	3×10^{-3}	Nd(OH) ₃ [°]
S	9.0×10^5	SO ₄ ⁻²	Sm	0.5×10^{-3}	Sm(OH) ₃ [°]
Cl	1.9×10^7	Cl ⁻	Eu	0.1×10^{-3}	Eu(OH) ₃ [°]
Ar	4.5×10^2	Ar(气体)	Gd	0.7×10^{-3}	Gd(OH) ₃ [°]
K	3.9×10^5	K ⁺	Tb	1.4×10^{-3}	Tb(OH) ₃ [°]
Ca	4.1×10^5	Ca ⁺²	Dy	0.9×10^{-3}	Dy(OH) ₃ [°]
Sc	$>4 \times 10^{-3}$	Sc(OH) ₃ [°]	Ho	0.2×10^{-3}	Ho(OH) ₃ [°]
Ti	1	Ti(OH) ₄ [°]	Er	0.9×10^{-3}	Er(OH) ₃ [°]
V	2	VO ₂ (OH) ₃ ⁻²	Tm	0.2×10^{-3}	Tm(OH) ₃ [°]
Cr	0.5	CrO ₄ ⁻² , Cr ⁺³	Yb	0.8×10^{-3}	YbSr(OH) ₃ [°]
Mn	2	Mn ⁺²	Lu	0.1×10^3	Lu(OH) ₃ [°]
Fe	3	—	Hf	$<8 \times 10^3$	—
Co	0.4	Co ⁺²	Ta	$<3 \times 10^{-3}$	—
Ni	7	Ni ⁺²	W	0.1	WO ₄ ⁻²
Cu	3	Cu ⁺²	Re	8×10^{-3}	—
Zn	10	Zn ⁺²	Au	1×10^{-2}	AuCl ₂ ⁻
Ga	3×10^{-2}	—	Hg	0.2	HgCl ₄ ⁻² , HgCl ₂ [°]
Ge	7×10^{-2}	Ge(OH) ₄	Tl	<0.1	Tl ⁺
As	2.6	HAsO ₄ ⁻² , H ₂ AsO ₄ ⁻¹	Pb	3×10^{-2}	PbCl ₃ ⁻ , PbCl ⁺ , Pb ⁺²
Se	9×10^{-2}	SeO ₄ ⁻²	Bi	2×10^{-2}	—
Br	6.7×10^4	Br ⁻	Rn	6×10^{-13}	Rn(气体)
Kr	0.2	Kr(气体)	Ra	1×10^{-7}	Ra ⁺²
Rb	1.2×10^2	Rb ⁺	Th	$<5 \times 10^{-4}$	Th(OH) ₃ [°]
Sr	8×10^3	Sr ⁺²	Pa	2.0×10^{-6}	—
Y	1×10^{-3}	Y(OH) ₃ [°]	U	3	UO ₂ (CO ₃) ₃ ⁻⁴
Zr	3×10^{-2}	—			

表2 海水中主要成分及总含量

元素	浓度 (ppm)	整个海洋中的含量(吨)
氯	18,980	26,200兆
钠	10,561	37,500兆
镁	1,272	3,100兆
硫	884	3,050兆
钙	400	660兆
钾	380	620兆
溴	65	89兆
碘	28	39兆
锶	8	13兆
硼	4.6	30兆
氟	1.3	1.8兆
铷	0.06	840亿
铯	0.01	140亿
铀	0.003	45亿
镍	0.002	30亿
银	0.00004	5,600万
金	0.000004	560万

接原料, 利用物理和化学原理及方法, 研究分离、提取海水中各种化学元素(包括其同位素)及其各种化合物的过程。例如: 从海水中提溴、镁、铀及氯化钠等化学成分。根据它们在海水中的不同含量和提取方法的特点, 为方便起见, 一般也可粗略地划分为常量元素的综合利用和微量元素的综合利用。常量元素一般指每升海水含100毫克以上的元素, 微量元素一般指每升海水含100毫克以下的元素。

下面扼要介绍常量元素和微量元素的提取方法

①蒸发法

根据各种盐类在不同温度下溶解度不同的原理, 对海水或苦卤进行蒸发浓缩和冷却结晶等物化方法处理, 使溶液中各种成分得以分离。如用蒸发法提钾时, 钾盐先以复盐形式被分离, 然后将复盐加水分解, 制得氯化钾。此法主要用在蒸发苦卤和高盐度钾含量高的死海海水中提钾。

②沉淀法

表3 每年处理 3.5×10^{10} 吨海水中的化学成分含量

无机物	吨/年	无机物	吨/年
食盐	1,000,000,000	铋	8
氧化镁	76,000,000	铊	8
钾碱	18,000,000	银	6
溴	2,500,000	钴	4
锶	500,000	钨	4
硼	190,000	汞	1
氟	50,000	金	600磅
铷	7,600		
锂	3,800		
钡	3,400		
碘	1,900		
铜	950		
锌	900		
钼	600		
锰	380		
钛	340		
铅	300		
钒	370		
镍	230		
砷	190		
硒	150		
铀	125		
锡	115		
铬	95		
铯	75		
铷	20		

在海水中加入某种有机或无机试剂, 使它与海水中的元素生成一种不溶性的化合物的方法称为沉淀法。使用的有机或无机试剂也称为有机或无机沉淀剂, 在提钾中有机沉淀剂研究最多的是二苦酰胺(六硝基二苯胺); 无机沉淀剂有四苯硼酸钠、硫代铋酸钠等。

③离子交换法

用离子交换法可以提钾和铀等元素。应用在海水中提取各种元素的离子交换剂也有有机和无机离子交换剂之分。用于海水提钾的有机离子交换剂有聚乙烯五硝基二苯基胺的金属化合物等, 间苯二酚膦酸树脂可提铀; 无机离子交换剂有磷酸钙和聚磷酸钙等。

④吸附法

吸附法就是根据一种物质的分子或离子可以附着在另一种物质的表面,根据这种吸附作用的原理,在溶液中加入已制备好的吸附剂对吸附物进行吸附的一种方法。吸附作用有物理吸附,化学吸附和离子交换吸附三种。吸附剂特别是无机吸附剂吸附溶液中的化学成分时,往往不是吸附单一的化学成分,就选择性来说,无机吸附剂一般不如有机离子交换剂的选择性高,吸附剂吸附溶液中各种成分时是一个复杂的物理和化学过程,所以有的人又把吸附剂叫做吸着剂。

⑤浮选法(包括离子浮选和泡沫分离——起泡分离法)

浮选法在化工和冶金工业上应用较广,但在提取海水中的常量元素时,此法目前只应用于苦卤及高盐度的死海海水中提钾,在提取微量元素时,近几年发展了用离子浮选法和泡沫分离法进行海水提铀。离子浮选是在具有某种离子的溶液中加入捕集剂而成不溶性化合物附着于气泡上的分离法,泡沫分离则是自身有表面活性或在含有某种离子溶液中加入表面活性剂,通气成泡沫而分离的方法。两者的差别在于前者是利用气泡迅速上升而形成泡沫层分离,后者是借分散气泡上升作用,被分离的物质富集于浮膜中而达到分离的目的。这几种方法都需要外加捕集剂和动力鼓泡,如用在海水提铀时,在工程上是难以做到的。

⑥萃取法

早期曾用此法研究海水提铀。由于萃取剂需要与大量海水接触,在工程上也是难于做到的,所以用此法提取海水中的化学元素是没有实际意义的。

⑦生物富集法

利用海洋生物可大量吸收某种化学元素的能力,而达到富集的目的。如:海带可吸收大量的碘,就可从海带中提碘;经专门培养过的绿海藻可富集铀。生物富集法也是值得研究的一种方法。

在以上所介绍的提取方法中,一般以离子

交换法和吸附法用得最多。

海水化学资源综合利用发展动态

1. 海水制盐(氯化钠)

食盐是人类生活的必需品,也是生产氯和烧碱的基本化工原料。现在世界上每年生产一亿几千万吨盐,其中海盐年产量约在5,000万吨以上,其余则由岩盐及地下卤水生产。

海水制盐最简单的并且几千年来一直沿用的方法就是利用太阳能晒盐,即自然蒸发法。只要具有较强的太阳能和广大盐滩,就可大量晒盐。利用该法生产的盐价格便宜。世界上有不少国家都有条件晒盐的,而日本则多雨,地湿,晒盐条件差,大部份盐依靠进口,因此,日本就发展了用离子交换膜电渗析——真空蒸发法制盐,目前主要生产食盐是依靠该法。

我国食盐生产主要来自海盐,是海盐生产最发达的国家,居世界首位。

2. 海水提镁

镁也是海水中含量最丰富的化学元素之一。一些缺乏镁矿的国家,十分重视直接从海水中生产大量的镁盐及金属镁。目前,世界上大部分金属镁和镁化合物都来自于海水。

1920年后有的国家就研究过海水提镁,日本在50年代研究过用阳离子交换树脂提镁,在1960年后有些国家还用其它方法研究海水提镁。但几十年来大多数国家仍用石灰乳处理海水,以工业规模生产氢氧化镁,此法优点是方法简单,成本较低。从海水中提镁,主要是金属镁和氧化镁,提取1吨氧化镁约需700米³海水。美国金属镁的年产量在15万吨以上,英、日等国生产的金属镁年产量也都较大,帝国主义国家常以扩军备战来刺激金属镁的生产。

我国镁资源储量丰富,大有发展前途,以满足我国社会主义建设的要求。

3. 海水提溴

早期的提溴工业都是以制盐苦卤为原料,现在有些国家,如:我国、印度等仍然采用苦卤生产溴。直接从海水中提溴最早是用苯胺沉

淀法（即溴与苯胺生成三溴苯胺沉淀）。英、法、美、苏等国都是提溴最早的国家。1930年后就采用空气吹出法提溴。目前，世界上沿海国家还都是采用此法生产溴。其基本原理是：将海水酸化（ $\text{pH} = 3 - 3.5$ ），用氯氧化，然后通入空气吹出溴，再用适当的吸收剂吸收溴，吸收的溴再加酸酸化（ $\text{pH} = 1 - 2$ ）蒸馏就可制得纯溴。

几十年来世界沿海各国从海水中生产溴的方法改进不大。有的国家曾研究过用强碱性阴离子交换树脂提溴，但还没有见诸于工业化，在用空气吹出法提溴方面，除工艺设备有些改进外，在吸收溴的吸收剂方面，英、美、日等国曾研究过多种，此外，日本还研究过用电解海水与空气吹出法结合起来提溴，但未见工业生产。

由于陆地上几乎没有溴的矿物，所以，只有从海水提溴。目前国外溴的产量已达25万吨，美国在1973年就生产了约18万吨溴，占世界溴总产量的70%，随着工业的发展，各国对溴的需要量将不断增加，溴主要用于汽油防爆剂，也是医药、农药、阻燃剂、照相感光材料、染料、化工等工业的原料。从发展的情况来看，农药对溴的需要量近几年来急增，仅就日本来说，用于农药方面的溴约占其产量的50—60%。

我国直接从海水中提溴的研究始于无产阶级文化大革命期间，现在有些厂已用空气吹出法生产溴，在提溴方法的研究上，填补了我国提溴工业的空白，为了赶上世界先进水平还研究了强碱性阴离子交换树脂提溴。根据我国社会主义建设事业的发展要求，海水提溴工业必将得到迅速的发展。

4. 海水提钾

钾即是肥料的三要素之一，又是化工和国防工业的原料。1972年世界钾产量已超过2,000万吨（ K_2O ），其中90%以上的钾用作肥料。美国、加拿大、苏联、东德、西德、法国等几个国家钾产量占世界总产量的94%，世界上大部分钾盐均由加工可溶性钾矿得到，只有少数国家取自盐湖和卤水，还有一些国家由于缺乏钾矿资源，不得不大量进口，如日本每年需130

多万吨钾，几乎全部靠进口。因此，缺乏钾资源又靠海的国家，对海水提钾都比较重视。

海水提钾的研究工作，已有近40年的历史。在提钾的方法中只有蒸发法和浮选法可从苦卤和高盐度钾含量高的死海海水中提钾，比较成熟，以色列就用这两种方法从死海海水中提钾，其它方法都还停留在研究和中间试验阶段。其中用沉淀法提钾研究得较多，最早是从1930年开始的。早期用的有机沉淀剂是六硝基二苯胺，挪威曾于1939年建立此法的中间试验装置，第二次世界大战时研究中断，后又恢复原来的研究工作，1971年又介绍了每小时处理300米³的中间试验工厂。英国、保加利亚等国还分别研究过六硝基甲基二苯胺和五硝基甲基二苯胺这类试剂，这些试剂虽对钾的提取率高，但都因试剂昂贵，成本高，同时还涉及到有毒废水的处理问题，故迄今还未能应用于工业上；在无机沉淀剂中，英、日等国研究过以磷酸钾镁沉淀形式提钾，其它有关国家还研究过四苯硼酸钠、硫代铋酸钠、氯酸钙和过氯酸钠等无机沉淀剂，也是由于试剂贵，成本高等原因，未见工业化。

有的国家还研究过离子交换法提钾。例如：日本和美国研究过用有机离子交换剂聚乙烯五硝基二苯基胺的金属化合物从海水中提钾，或用离子交换法和沉淀法相结合的方法提钾，美国用过氯酸钠沉淀钾后，经分离及溶解，再用钠型阳离子交换剂回收过氯酸钠，如此可以循环进行，并可降低试剂成本。日本近几年研究了磷酸锆、聚磷酸锆、焦磷酸锆和六偏磷酸锆等无机离子交换剂提钾，其中以焦磷酸锆和六偏磷酸锆最好，可吸附钾离子约达80%，这些无机离子交换剂还是处在试验阶段，七十年代左右又发展了用天然无机离子交换剂从海水中提钾，美国研究了用海绿石经氯化铵溶液处理后可吸附海水中的钾，东德研究了一种含氧化钠、氧化铝和二氧化硅的合成沸石，可吸附海水中95%的钾，看来用天然无机离子交换剂或用便宜的合成无机离子交换剂解决海水提钾是有发展前途的。

5. 海水提铀

在微量元素提取方面，近年来研究较多，许多沿海国家由于缺乏陆地资源，都先后组织力量向海洋要宝，现在已有英、美、苏、西德、意大利、巴基斯坦等10多个国家研究海水中微量元素的提取，研究过的微量元素有铀、锂、碘、金、硼等10几个，但目前国外比较集中的是对海水提铀的研究，其它微量元素只作过少量的研究，简单的介绍如下：

海水提铀之所以重要是由于它可作为核武器和原子能和平利用的燃料。据估计到1985年铀的累计需要量将达70—100万吨，到20世纪末需铀量估计将达200万吨，而陆地已发现的铀矿储量约150—200万吨，而且，陆地开采的铀矿大多是贫矿，开采工艺复杂，而海水则是一个均匀体系的液体铀矿，提取工艺较简单，如果海水提铀能实现工业化，则将显示出它巨大的优越性。鉴于上述原因，许多沿海国家，特别是缺乏铀矿资源的国家(如英、日等国)都把海水提铀作为重要项目来抓，英国在第二次世界大战后就研究了海水提铀的可能性，日本极为重视海水提铀的研究，近几年研究进展较快。目前各国在海水提铀方面虽研究过多种方法，但有发展前途的还是吸附法和离子交换法。海水提铀的首要关键是铀的富集问题。以吸附法为例，就是选择吸附剂的问题。研究过的吸附剂有不溶性的多元酸化合物(如磷酸钙等)，碱式盐(如碱式碳酸锌等)和不溶性的水合氧化物，即各种氢氧化物沉淀的吸附剂，如：氢氧化钛、氢氧化铝、氢氧化铁等，还有形成沉淀的硫化物吸附剂，都能程度不同地吸附铀，较好的无机吸附剂有氢氧化钛、硫化铅、方铅矿、碱式碳酸锌、钛系、锌系、铝系氢氧化物复合吸附剂等，还研究过一些有机离子交换树脂，如：间苯二酚-脲酸树脂(见表4)。由于吸附剂和有机离子交换剂还存在着各种问题，不够理想，还需作进一步的研究。目前有关国家研究的主攻方向仍然是选择吸附剂，要解决吸附剂的吸附容量，解吸率和回收率要高，吸附速度要快，溶解度要低，物理性

表4 某些吸附剂吸附铀的吸附量

吸附剂	研究单位	吸附量 (微克铀/克吸附剂)
钛酸	英国哈威尔原子能研究所	133微克铀 氢氧化钛(克)
钛酸	日本专卖公司中央研究所	230微克铀 氢氧化钛(克)
钛酸系复合吸附剂	日本四国工业技术试验所	600微克铀 吸附剂(克)
方铅矿颗粒	英国哈威尔原子能研究所	390微克铀 硫化铅(克)
硫化铅	日本京都大学原子能研究所	690微克铀 硫化铅(克)
碱式碳酸锌	英国哈威尔原子能研究所	295微克铀 碱式碳酸锌(克)
锌系复合吸附剂	日本四国工业技术试验所	500微克铀 吸附剂(克)
铝系复合吸附剂	日本四国工业技术试验所	300微克铀 氢氧化铝(克)
间苯二酚-脲酸树脂	英国哈威尔原子能研究所	1010微克铀 树脂(克)

能要好，再生率要高及吸附剂来源广，成本低，对海洋无污染等问题，才能用于工业化。就目前的研究来看，吸附剂选择的研究还有不少的差距，对吸附铀的机理研究，开展得还远远不够，英、日等国对氢氧化钛吸附铀的机理作了一些研究，并提出了一些海水提铀工业化方案的设想。总之，目前，要实现海水提铀工业化还有较大的距离，仅举一例就可说明海水提铀工业化的艰巨。若每年回收100吨铀，就要每日280吨氢氧化钛与2亿米³海水接触，水量之大非一般动力所能解决，这就必需利用天然动力如潮汐涨落等方式提取铀，才有可能实现海水提铀工业化。

6. 其它一些微量元素的提取

①海水提碘

碘的用途已如前述。目前世界每年碘的需要量已超过9,000吨，主要产碘国家有智利、日本等国，智利从硝石中提碘，产量原占世界第一，但从1965年后，日本从地下卤水提碘，碘产量已远远超过智利，而居世界首位。从世界范围

来说,提碘主要原料为智利硝石,地下卤水, 油井废水等, 目前世界碘产量的80%是从井矿盐湖和卤水中提取的。有的国家从油田废水中提碘, 由于碘需要量不断增加, 除寻找地下卤水资源外, 还研究从海水中提碘, 法国在1935年就介绍了用电解法回收海水中的碘, 日本在1965年后就陆续发表了海水提碘的文章。从目前来看, 海水提碘还只限于实验室试验阶段。由于各国碘资源的多少差别较大, 各国对碘的需要量也各不相同, 所以对海水提碘的迫切性也就不同。由于我国对碘需要量的日益增加, 对海水提碘的研究工作也就更加重视了。

②海水提锂、金和硼等微量元素

海水中的锂含量已如上述, 它相当于铀含量的50倍, 日本四国工业技术试验所正利用离子交换法, 沉淀法, 吸附法和溶剂萃取法提取海水中的锂; 1968年法国介绍了用磷酸三丁酯

和二-(2-乙基基)磷酸在苯中的混合液对形成的铁氟酸锂进行萃取, 然后用水反萃取后再经其它方法的处理, 就可得到锂; 苏联在1972年介绍了硼在 ZrO_2 吸附剂上的吸附研究, 在海水pH为8.2—8.3时, 1克 ZrO_2 能吸附10毫克氧化硼, 日本研究过用碱法处理可从海水中沉淀出镁和硼; 苏联、日本等国还分别研究了钼、钒、钴、镍等金属离子与 $Fe(OH)_3$ 等氢氧化物的共沉淀吸附问题, 美国加利福尼亚大学也研究过利用 $Fe(OH)_3$ 吸附剂提取硅、铍、铝和钛等元素。

关于海水提金, 早在第一次世界大战后就引起了一些国家的注意, 有几个国家很有兴趣地用离子交换吸附法研究了海水提金问题, 直至1973年南非还发表了海水中提金的评论。总之, 一些国家至今仍有兴趣致力于海水提金的研究, 但前途看来是很渺茫的。

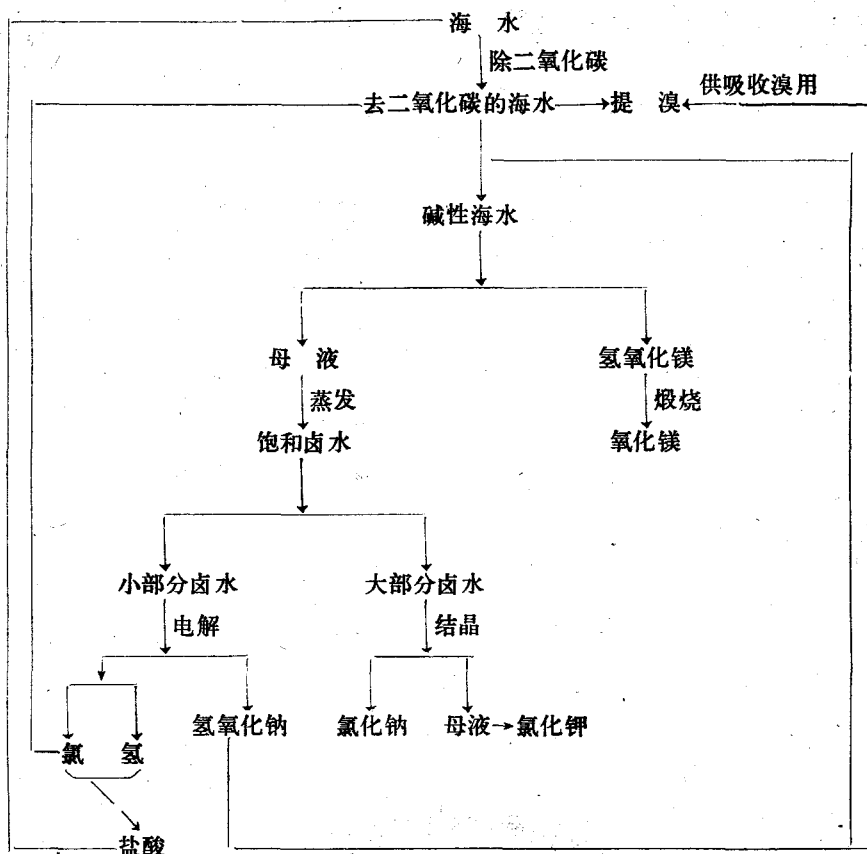


图1 提溴与提镁等联产的综合利用流程

关于海水化学资源综合利用的问题

1. 目前所谓海水化学资源综合利用, 实际上大多数是单一提取, 或者两叁种元素综合提取, 而各国对海水化学资源综合利用的要求, 又各不相同, 都各自按照本国的具体情况提出不同的综合利用方案, 如: 根据各国的陆地资源, 技术水平, 和实际需要等因素有选择地进行海水化学资源综合利用, 而且, 海水化学资源综合利用还与各国社会制度有关。如美、英等国虽然海水化工的机械化自动化程度较高, 生产规模大, 但由于它的资本主义制度所决定, 是为垄断资产阶级扩军备战, 追求利润和掠夺殖民地人民的财富服务的, 只搞单项或两叁种联产(美国就是这样), 综合程度不高, 不可能合理的有效的利用海水化学资源。在资本主义世界中, 日本由于缺乏各种资源, 对海水化学资源综合利用较为重视, 从提取常量元素到微量元素, 都开展了研究, 显然其目的在本质上与

美、英等国是一样的, 只是在具体做法上有所不同, 日本先后提出过许多海水化学资源综合利用方案, 比较成熟的是把提溴和提镁及其它一些产品结合起来, 综合程度比其它国家高些。下面介绍几个海水化学资源综合利用方案。

①日本东京工业试验所采用的海水化学资源综合利用流程, 如图 1 所示。

该方案主要优点是: 直接利用海水生产各种本身所需要的原料, 免去包装和运输过程, 氢氧化镁质量好, 溴的回收率高等。

②海水综合利用与其它工业结合的联合生产流程, 如图 2 所示。

该方案的特点是: 以海水为直接原料与人造丝厂、电石厂、塑料工业结合起来, 原料来源成本低, 其缺点是不能充分利用溴和钾盐的生产。

③与原子能发电、海水淡化和付产物综合利用结合起来, 如图 3 所示。

图 3 是一个较为理想的海水化学资源综合利用方案, 如能实现, 则可以形成一个巨大的

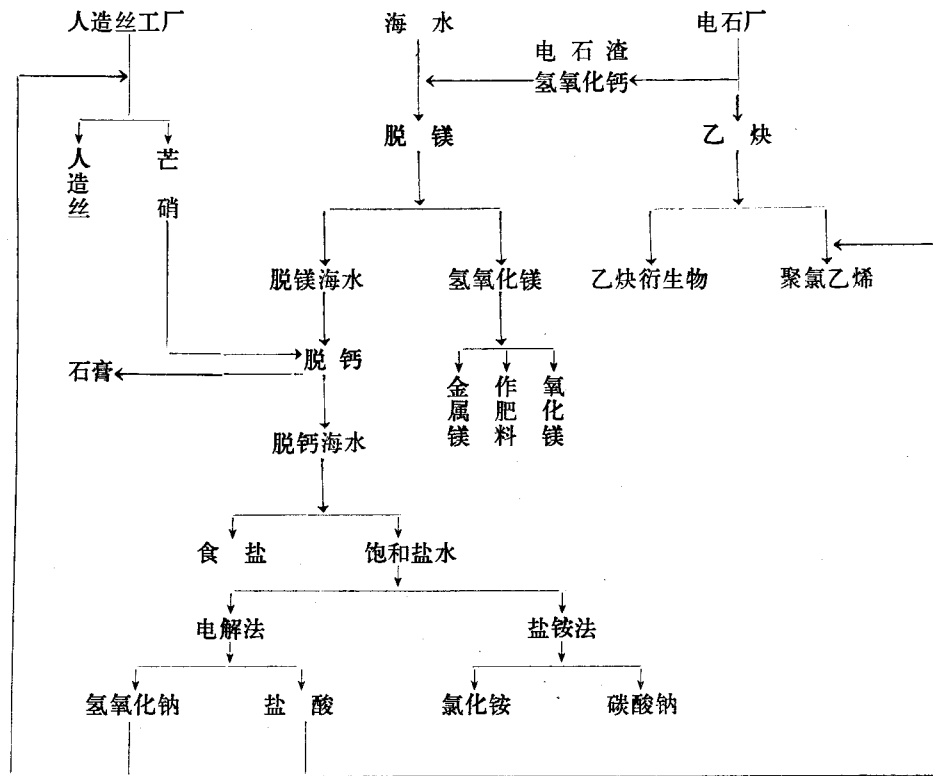


图 2 海水化学资源综合利用与其他工业结合的联产流程图

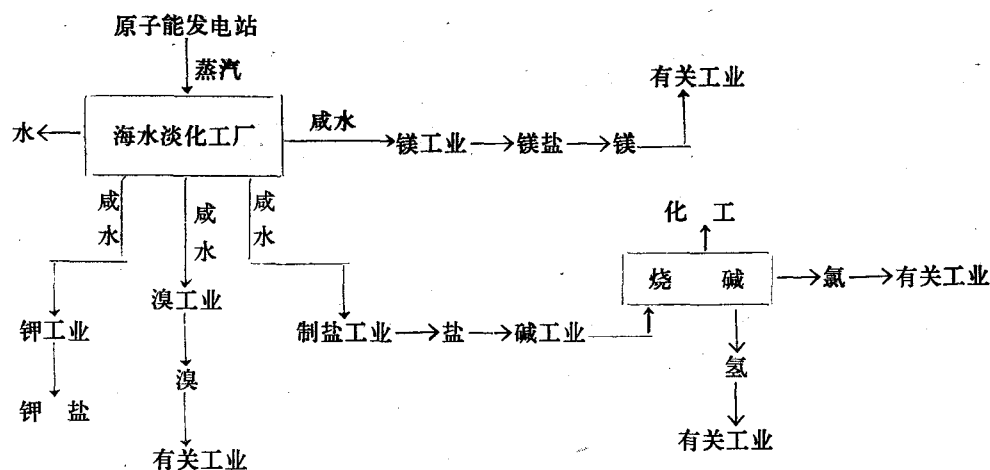


图3 海水化学资源与原子能发电、海水淡化等综合利用流程图

联合企业网。在建立原子能发电站较多的国家里这个方案是有可能实现的，在没有原子能发电站的国家里则可考虑从发电厂冷却后的海水中提钾、镁和溴，把三者串联起来，作为在一定条件下部份常量元素综合利用的方案。这个方案是可以实现的。

2. 常量元素与微量元素的综合提取。虽然得到的微量元素是很有限的，但是在提钾、溴和镁时可以考虑同时提取某些微量元素，以提铀为例，每天处理100万吨海水，如铀全部回收为3公斤，年产量约1吨，其量虽小，但从综合利用角度来看，是可取的，它至少可以节省给排工程设施的投资费用，降低动力消耗，因而也就降低了生产成本。在我国现有条件下，凡沿海地区利用海水生产化工产品（包括发电厂等工厂使用的冷却海水及海水淡化工厂）的工厂均可考虑常量元素与微量元素的综合提取，做到充分利用海水资源，综合提取的规模可因地制宜，采取大、中、小结合的方针。其工艺流程（暂考虑为钾、铀、溴和镁的综合提取）可设想为先提钾和铀，这是由于提钾和铀对海水成分并无多大变化，不影响提溴和镁，故可以把钾和铀的提取放在前面，然后再提溴和镁。

3. 关于微量元素的提取问题。上面已介绍了常量元素与微量元素（钾、铀、溴、镁）的综合提取。这个综合提取方案对钾、溴、镁来说是沒有问题的，但对铀等微量元素来说，

利用上述方案来解决它们的提取及其综合利用，则就不理想了，因为它不能解决大量提取微量元素的问题。因此，上述方案不是一个唯一的有效途径。要解决微量元素的综合利用，必需要用其它方法。据目前所用的方法来看，利用吸附法提取微量元素是一个很有发展前途的方法。利用一定的吸附剂通过天然动力如潮汐涨落等方式，与大量海水接触，就可达到提取大量的微量元素，而且吸附剂吸附的微量元素往往一次能吸附10余种元素。例如：氢氧化钛与海水接触30天后就能吸附14种元素之多（铬、钒、铀、锰、铁、镍、钡、铜、锶、钙等），况且每种吸附剂吸附的元素种类和数量还各有不同，所以在利用天然动力的条件下，利用吸附法大量提取微量元素是有发展前途的，它为微量元素的综合利用开辟了一个新的途径（当然就吸附法本身而言，也可用于淡化后的浓缩海水中微量元素的提取），而当前研究的海水提铀也就是为将来微量元素的综合利用创造有利的条件。

开展海水化学资源综合利用的研究，不仅为国家提供许多国防工业和工农业需要的原料，而且可带动科学技术向更高的水平发展，是促进我国社会主义建设发展的一个重要因素。我国有着漫长的海岸线，海洋资源极为丰富，我们必需充分利用这个有利条件，积极开展对海水化学资源综合利用的研究，为开发利用我国辽阔富饶的海洋作出较大的贡献。