

编 号: (81)010

出国参观考察报告

美国、约旦盐湖综合利用

科学技术文献出版社



目 录

概况.....	(1)
一、凯尔马基化学制品公司托罗纳工厂.....	(4)
(一) 西尔斯湖地质简况.....	(4)
(二) 工业生产概况.....	(5)
(三) 晶间卤水的开采.....	(5)
(四) 晶间卤水的综合加工.....	(6)
(五) 托罗纳工厂的特点.....	(8)
二、大盐湖矿物和化学制品公司.....	(8)
(一) 大盐湖地质简况.....	(9)
(二) 钾镁盐资源的开发利用.....	(11)
(三) 一些体会.....	(17)
三、大盐湖沙漠邦维尔盐滩凯瑟化学制品公司.....	(18)
(一) 大盐湖沙漠邦维尔盐滩地质资源简况.....	(18)
(二) 凯瑟化学制品公司的卤水开采.....	(19)
(三) 凯瑟公司盐田钾石盐矿的加工.....	(20)
(四) 考察后的几点认识.....	(21)
四、得克萨斯湾化学公司 CANE CREEK 钾矿简介.....	(22)
(一) 概况.....	(22)
(二) 水溶法开采钾石盐.....	(23)
(三) 盐田建造.....	(24)
(四) 盐田采收与运输.....	(25)
(五) 选矿.....	(26)
(六) 几点看法.....	(27)
五、约旦阿拉伯钾盐公司死海工程.....	(28)
(一) 死海地质简况.....	(28)
(二) 盐田.....	(30)
(三) 加工工艺.....	(33)
(四) 阿拉伯钾盐公司加工厂工程特点.....	(35)

美国、约旦盐湖综合利用

中国“盐湖综合利用”代表团

概 况

中国盐湖综合利用代表团一行八人，于1980年10月到11月，赴美国、约旦国重点考察了美国西尔斯湖、大盐湖和约旦死海的地质、钾盐的采卤、输送、盐田结构、加工工艺和设备选型等方面的技术。

这次考察是接受联合国技术合作部的资助，由联合国技术合作部委托美国 JACOBS 工程公司负责全程接待工作，考察安排比较紧凑，接待也很友好、热情，考察任务基本完成。

考察期间，共参观、考察了十三个单位。其中一个工程公司，七个工厂（即四个盐湖提钾工厂，一个钾石盐矿提钾工厂，一个磷矿选矿厂，一个磷肥加工厂），五个地质、矿物及基础研究所。

盐湖资源的综合利用及钾肥的专项考察，国内还是第一次。这次考察目的比较明确，所以对美国、约旦盐湖的特点及其开发过程的经验比较注意，详细情况见专题报告，现就综合情况简述如下。

(1) 西尔斯湖是一个干湖，盐盖下面卤水埋藏深度很浅，有晶间卤水，分上、下及混合盐层；上、下层盐中间被一不渗透粘土层所隔开，上层卤水含钾、硼较高，下层卤水含碳酸盐较多，属碳酸盐型湖水。托罗纳 (Trona) 工厂主要采集上层卤水生产氯化钾，现有三条生产线，总产量年产30万吨氯化钾、6万吨硫酸钾。西尔斯湖开发较早。第一次世界大战中，由于美国从德国进口的钾盐被迫中断，国内尚未发现大的钾石盐矿，氯化钾产品售价猛涨，刺激了对盐湖的开发。托罗纳工厂从1915年建厂到1918年开始生产氯化钾，当时规模很小，只有几千吨。但该厂坚持搞科研，从二十世纪二十年代中，开始研究卤水相图的基础理论及湖水资源的综合开发利用，1965年真正解决日晒盐田的渗漏和工艺。现该公司主要产品为纯碱，同时副产品氯化钾、硼砂、无水硫酸钠等多种重要化工产品。西尔斯湖盐田抽取晶间卤水和我国青海察尔汗盐湖抽取晶间卤水有相似之处。

(2) 美国大盐湖是古代邦维湖 (BONNEVILLE LAKE) 的残迹，是西半球最大的内陆湖。由于蒸发大大高于流入，盐的大面积沉积，湖西部形成巨大的沙漠。湖水补给靠贝尔河、外贝尔河和约旦河三条河流，偏集于湖南部的东岸。又因为1959年建成南太平洋铁路，铁道堤将大盐湖分为南北两部，路基下面水只能渗透，因此北部卤水浓度显著高于南部。大盐湖盐水属硫酸盐型，盐水主要成分与海水一样，属五元盐体系，即 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 $\text{Mg}^{++}-\text{H}_2\text{O}$ ，氯化钠储量很大。大盐湖食盐生产已有一百年历史，曾一度生产过钾盐，因成本高昂而中断。1971年，大盐湖矿物和化学制品公司开发了新的盐田工艺，巧妙地利用相图信息，使盐田尽量多生产高品位的钾镁矾 ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2.75\text{H}_2\text{O}$)，而避免生产低品位的软钾镁矾 ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)，并且也尽量少生产氯化钠，在析出钾盐

镁矾后的卤水中还有光卤石，用加硫酸镁的方法，经过冬天，使光卤石全部转成钾盐镁矾，从而简化了生产工艺。用钾盐镁矾加工生产硫酸钾，使技术经济都过了关。现年产硫酸钾20万吨，纯度96%，氯化钠60万吨。

(3) 大盐湖沙漠位于大盐湖西部，是古代邦维尔湖的蒸发盐类沉积所形成的。卤水赋存于地下，地下主要是粉砂、多孔结晶盐层和粘土层，利用湖积层上部8米，含氯化钾1%以上的卤水，为盐田卤水的主要来源。卤水属氯化物类型，与察尔汗盐湖属同一类型，但镁含量低。凯瑟化学制品公司在开采加工过程中也有独到之处，卤水开采全部为渠道网，经三级蒸发池后，浓卤水进入收获池，结晶出钾石盐，卤水比重1.25，品位25—35% KCl，当卤水浓度中氯化钾含量低于4%，氯化镁含量22%，氯化钠含量4%时，将卤水排到光卤石池。在光卤石池中析出的光卤石，加含盐量35,000ppm的微咸水，重新溶解，卤水返回收获池，继续结晶出钾石盐。当光卤石池卤水比重达1.29，氯化镁含量达28%时，排出高镁卤水进氯化镁贮池，进一步浓缩到34%。凯瑟公司每年生产氯化钾9万吨，纯度96.6%，还有副产品33%的氯化镁出售。由于每年要在池底结氯化钠盐6英寸，从1930年开始至今已报废四个周期盐池。

(4) 德克萨斯海湾化学公司，在犹他州MOAB镇40公里的CANE CREEK凯尼克里克，曾采用地下开采钾石盐矿生产氯化钾，由于盐层含瓦斯气体，开采时，发生瓦斯爆炸事故，1970年改地下开采为水溶法开采。水溶开采法系由JACOBS工程公司设计承包盐田部分，即将水注入地下，溶解钾石盐矿后，再抽取卤水，建太阳能蒸发池，晒制钾石盐，采用管道输送和浮选法加工，年产量25万吨。改用水溶法后，定员由430人减到110人，生产安全可靠，成本下降。工厂加工设备能力为50万吨/年，现半年生产，半年培训或假期。

由于地层渗漏，盐田建造遇到很大困难，他们做了几十种衬砌试验，最后认为采用PVC（软聚氯乙烯薄膜）作衬底，在堤上铺两层HYPALON橡胶布能防渗漏，寿命可达20年。为防止盐田池板碰损，收获机设有激光装置，可控制盐层收获厚度。局部衬垫损坏，可以修补。

该工厂离MOAB镇还有40公里，除盐田及加工厂外，全部工人、家属都住40公里外的MOAB镇上。

(5) 约旦死海海水组成与察尔汗盐湖卤水极相似，是氯化物类型。美国JACOBS工程公司正为约旦阿拉伯钾盐公司承包一项利用死海海水经过日晒、水采盐田制取光卤石并用冷分解热溶结晶法加工成年产120万吨氯化钾的工程设计和建设任务。这项任务包括有电站、维修厂、运输公路、码头仓库、职工住宅区等辅助设施。1979年开始建设，现进展很快，1982年1月可部分投产，1985年达到设计产量。

这次是带着问题到美国、约旦，对已经开发利用的三个不同类型的盐湖进行考察。考察是有收获的，对开发我国青海察尔汗盐湖技术方面有不少值得借鉴之处，主要有以下几点体会。

(1) 国外十分重视开发盐湖及综合利用的科学研究工作。美国盐湖开发工作是有曲折过程的，解决盐湖开发利用的技术、经济关，主要靠科学研究。各公司十分重视科研，如TRONA工厂自二十世纪二十年代开始，坚持抓科研工作，搞综合利用。该厂是美国利用盐湖提钾生产最老的工厂之一，年年有新套套，在各公司竞争过程中，一直为优胜者，近年来搞综合利用，速度发展更快。大盐湖矿物和化学制品公司建厂前作了五年科研准备工作，科研工作中自付学费，建厂后继续做试验，原以为有1.2万英亩足够建25万吨钾盐厂，现在已

有1.7万英亩盐田，才能建15—20万吨硫酸钾厂。原计划投资2,700万美元，实际已投资6,000万美元，多余部分均为学费。MOAB钾石盐矿每年也有一、二百万美元的科研经费。

(2) 抓好盐田科研工作解决开发盐湖的关键。各公司开发盐湖，都十分重视水盐体系相图基础理论工作，不管是碳酸盐型、硫酸盐型，还是氯化物型的盐湖，都是坚持十年、二十年，做了大量的研究工作，然后巧妙地利用相图改进盐田工艺，综合利用，做到经济合理。美国的盐田以旱采为主，为了解决大面积易采矿石，旱采中都避免收集粘度较大的光卤石矿。大盐湖矿物和化学制品公司控制高品位的钾盐镁矾，将光卤石重新转化为钾盐镁矾，简化了生产流程。凯瑟化学制品公司，虽是采用氯化物型的盐湖，收获池以采集钾石盐结晶，也将光卤石重新溶解后，再结晶成钾石盐。约旦死海工程盐田主要收获结晶光卤石，但采用水采设备收集。

在盐田建造方面，主要是防渗漏问题。他们因地制宜，就地取材，堤坝中心都用当地粘土、膨润土，护坡用外地的砾石材料，抗腐蚀、防冲击。局部地区缺乏粘土，为防止渗漏，有铺聚氯乙烯软塑料，也有铺衬橡胶布。盐池底板一般都是结成厚厚的钠盐。盐田趋向大型化，旱采最大的为4.2平方公里，水采最大的为6.7平方公里。池子面积大，建盐田投资可以节约，也方便大型机械的采用。堤一般都很宽大，坚固，这点特别值得我们注意。

盐田补给水及卤水的循环利用研究工作很有学问，一般加工厂的母液返回盐田，盐田老卤都返回盐湖。工厂产量能否扩大，往往取决于盐田工艺及矿石产量，矿石产量又取决于卤水的抽取和液体的返回补给量。

此外，由于盐湖类型不同，加工方法也不同，有浮选法、热结晶法，还有两种方法结合的，这主要决定于原料选择经济便宜的方案。

因此，掌握盐田规律，加强科研是开发盐湖的主要关键。

(3) 通过今年两次与美国JACOBS工程公司技术交流及这次去美国考察，看到了该公司设计与建造的MOAB水溶法钾石盐矿盐田，在技术上是成功的，经济上是有效的。JACOBS工程公司应用美国几个盐湖开发的经验，在实验的基础上，总结归纳，为约旦设计了大型的死海工程。这项工程盐田已基本建成，目前正在造池板结盐，加工厂也在基建安装，布置比较紧凑。看来该公司对钾盐工业有一定水平。

(4) 美国盐湖提钾工业开发较早，发展较慢，主要是过技术、经济关。开发盐湖美国有相当水平，但盐湖提钾量仅占钾矿产量的15%，全世界盐湖提钾量仅占钾矿产量的5%，所以说明还有一定的难度。目前，在我国尚无大规模可溶性钾盐矿时，五到十年内应首先开发青海盐湖。从长远考虑，今后国家应抓紧寻找可溶性钾石盐矿。

(5) 美国的盐湖开发已注意到各种资源的综合利用，并考虑到钾盐、钠、镁、溴、硼、锂、氯、硫等多种元素的回收利用。钠盐除作动物饲料、食用盐外，还可作化工原料如纯碱工业。镁的利用，主要是金属镁，耐火材料氯化镁以及铺公路防尘等。我国盐湖元素含量也很丰富，除钾盐外也应考虑其它元素的综合回收利用。

一、凯尔马基化学制品公司托罗纳工厂

(Kerr McGee Chemical Co., Trona)

(一) 西尔斯湖 (Searles Lake) 地质简况

西尔斯湖位于美国加利福尼亚州的东南部，距洛杉矶市270公里。湖区海拔512米，南北长约64公里，东西宽约40公里。该湖于1863年由约翰·韦·西尔斯 (John. W. Searles) 发现，故此命名。该区属典型沙漠性气候，昼夜之间温差较大，冬季白天平均气温为12.8℃，夜间为-4℃，夏季白天气温为43℃，夜间是24℃左右。全年以七、八月份为最热。年平均降雨量为102毫米，年淡水蒸发量可达1,830—2,740毫米，卤水蒸发量年平均为960毫米。

西尔斯湖是一个构造湖，无表面湖水，只在洪水季节短期存在10—20厘米水层。盐类沉积分布面积约100平方公里，地表出露的盐类沉积分布面积为31平方公里，其它为湖相粘土沉积所覆盖。该区曾进行过900米的钻探，打到基岩属上新统。上部湖相沉积剖面见图1—1。盐类沉积则分为三层，中间夹有厚度不等的淤泥。由上而下，第一层称上部盐层，盐体呈透镜状，主要矿物有：石盐、碳酸芒硝、钾芒硝、天然碱、硼砂等。该层上部以石盐为主，矿层厚度10—20米。第二层为下部盐层，分布面积较大，蒸发岩沉积以碳酸盐类矿物为主，厚15米，与上部盐层之间有一夹层淤泥，厚1—4.7米。在下部盐层之下为底部淤泥，淤泥层中含单斜钠钙石及杂芒硝、钙水碱等矿物。底部淤泥之下为混合层。该层上部以泥为主，夹天然碱透镜体，中部有4—5层薄层碱矿，下部为天然碱层，夹有石盐，无水芒硝透镜体。混合层之下为泥带。西尔斯湖区盐类矿物种类繁多，而在盐层中常见的矿物有：石盐(NaCl)、天然碱($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、碳酸芒硝($9\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{KCl}$)、钾芒硝($\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$)、无水芒硝(Na_2SO_4)、碳酸钠矾($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$)、重碳酸钠(NaHCO_3)、氟硫酸盐($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NaCl} \cdot \text{NaF}$)、硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)、三方硼砂($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{NaCl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)等。

西尔斯湖三组盐层中，均富含晶间卤水，孔隙度约为25%，pH9.48，上下两盐层的卤水比重为1.30，其化学组成列于表1—1。混合层的卤水含 Na_2CO_3 为6—7%，其它盐类均未达到饱和。目前，凯尔马基化学制品公司正在利用这三层卤水生产钾盐及其它化学制品。

表1—1 西尔斯湖晶间卤水组成

盐层	组 成 (重 量 %)											
	KCl	Na_2CO_3	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Na_2SO_4	Na_2S	Li_2O	KBr	WO_3	P_2O_3	NaCl	I_2	F
上层	5.02	4.80	1.63	6.75	0.08	0.015	0.12	0.007	0.07	16.1	0.003	0.002
下层	2.94	6.78	1.96	6.56	0.08	0.006	0.08	0.004	0.044	15.5	0.002	0.002

西尔斯湖的衍变：早在更新世时期，西尔斯是一古代深湖，面积接近1,000公里²。她是奥文斯 (Owens) 湖流域几个大湖中的一个。内华达山脉 (Sierra Nevada) 东坡广大面积的可溶盐类流入奥文斯湖，再经中国湖 (China Lake) 进入西尔斯湖，然后溢入帕那明

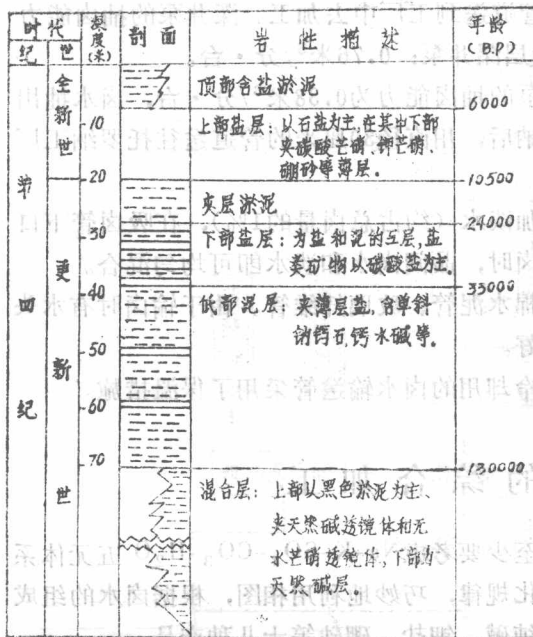


图1-1 西尔斯盐湖柱状剖面图

特湖 (Panamint Lake), 最后进入死谷湖。

西尔斯湖在维斯康星冰期沉积了大量的碳酸盐, 在冰后期, 奥文斯湖停止流出, 西尔斯湖不断蒸发、结晶, 成为目前的干湖。西尔斯湖卤水是杂交矿床的典型, 湖盐蒸发浓缩是该矿床二次富集的结果。根据美国地质调查所估计, 盐湖资源储量为: 氧化钾1,800万吨; 氧化锂8.1万吨; 氧化钨 7.5万吨; 天然碱 5—10亿吨; 氧化硼 (B_2O_3) 3,000万吨。

(二) 工业生产概况

西尔斯湖在十九世纪八十年代即已发现, 并被用来生产粗硼砂和纯碱。二十世纪初, 正值美国进口钾盐断绝, 被迫发掘国内钾盐资源的时候, 在钻孔中发现了钾盐和含

钾卤水。在确定了该湖的工业开采价值后, 即开始利用湖水提钾。为了提高质量, 降低成本, 增强竞争能力, 当地厂商多次改进生产方法, 采用先进设备, 使生产逐步发展。该湖是盐湖工业发展史上开发历史最早、坚持生产至今的典型。

目前, 西尔斯湖有凯尔马基化学制品公司的三家工厂在进行生产, 其中阿古斯 (Argus) 厂、威斯腾德 (Westend) 厂主要生产碳酸钠, 托罗纳厂主要生产氯化钾。

该公司的主要产品为:

碳酸钠 140万吨

氯化钾、硫酸钾 30万吨

硼砂、硼酸 20万吨

无水芒硝 50万吨

食盐 50万吨

另有锂盐、磷酸盐、溴等。

1980年10月23日, 我们访问了托罗纳工厂, 参观了该厂钾盐车间和太阳蒸发池。现将考察所得介绍如后。

(三) 晶间卤水的开采

西尔斯湖系干盐湖, 晶间卤水是主要矿源。凯尔马基化学制品公司是用钻井抽汲法开采晶间卤水的。生产井系用司笃也特合金钻头和直径为25厘米、38厘米、45厘米的扩孔器开凿的。井口安装有25厘米不锈钢套管, 套管与盐体之间的空隙用混凝土充填, 以防止上部或地表水流入。套管高出湖面0.3米, 由凸缘管与立式深井泵相连。

如前所述, 西尔斯湖共有三层卤水: 其中混合层卤水和下部盐层卤水是用于生产碳酸钠

的。深井泵抽出的卤水放到汇集池中，然后通过管道送到工厂中去加工。深井泵的抽卤能力分别为：混合层深井泵： $1.5\text{米}^3/\text{分}\cdot\text{台}$ ，下部盐层深井泵： $0.76\text{米}^3/\text{分}\cdot\text{台}$ 。

上部盐层的卤水是托罗纳工厂的原料，深井泵的抽卤能力为 $0.38\text{米}^3/\text{分}\cdot\text{台}$ ，卤水抽出后，送往太阳蒸发池进行浓缩，在除去部分氯化钠后，用直径30厘米的管道送往托罗纳工厂的 $4,000\text{米}^3$ 的储卤槽中。

由于晶间卤水过饱和，为防止结晶，在抽卤时加淡水（约占总卤量的1%），在吸卤管下口加一套管，接头附近的套管上加一淡水管，在抽卤时，晶间卤水和淡水即可均匀混合。

目前使用的输卤管道有三种材料：钢管、石棉水泥管、玻璃纤维管。由于输卤时有水头冲击产生，后两种管道易于破裂，故以钢管为最好。

为防止荒野的烈日曝晒而增高卤水温度，供冷却用的卤水输送管采用了保温措施。

(四) 晶间卤水的综合加工

西尔斯湖上层卤水组成复杂，在工业上应用至少要考虑 $\text{Na-K-SO}_4\text{-CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ 五元体系的行为。该厂的科技人员仔细地研究了卤水的变化规律，巧妙地利用相图，根据卤水的组成情况，控制温度、压力等有关因素，分别提取了纯碱、钾盐、硼砂等十几种产品。

该厂卤水的加工，主要分两大过程：

(1) 在隔离盐田中日晒蒸发，析出氯化钠，提高钾、硼等有用元素的含量。

(2) 碱石法综合加工盐田卤水，分别提取钾盐、硼砂、纯碱等产品。

现在分别叙述如下：

1. 隔离盐田的工艺和结构

西尔斯湖卤水日晒蒸发，第一步析出氯化钠，第二步析出氯化钠和钾芒硝。为避免钾的损失，在隔离盐田中，应将浓缩过程控制在第一步，其目的是尽可能提高卤水中有用元素的浓度，又不会造成损失。

该厂现有隔离盐田4.86平方公里（1,200英亩），较大的盐田有五个，每个0.82公里²（212英亩），其中三个供日常生产用，二个作冬季备用的浓缩蒸发池。另有几个小块盐池，供调节用。

隔离盐田建在湖相粘土沉积区，盐田堤埂用当地的泥土，用推土机推成，宽30—40米，高约3米；再在堤中间用反铲液压挖掘机挖沟，沟宽0.6米，深5—6米，把粘土填进去压实。

池底基本上是用盐做的，也可以用泥做。为了开进大型采盐设备，以用盐底板为好。盐底板厚1米，用卤水蒸发结晶三年而成。

盐田的卤水进口处要放石头保护池底，在灌卤时，卤水先冲在石头上，以免损坏池底。

各个盐田之间是串联的，用水顶水的方法走卤，走卤的隧洞约1.5—2米宽，容易结盐，需要1—2周清理一次。

该厂每年10月以后用旱采法采盐，现有采收机械18台，其中：归壠集堆机械4台，装运机械7台（ $4\times 30\text{米}^3$ ， $2\times 15\text{米}^3$ ， $1\times 23\text{米}^3$ ）推土机7台。推土机数量较少，稍感紧张。

2. 碱石法综合加工盐田卤水

该厂用碱石法综合加工隔离盐田送来的卤水，其工艺流程见图1—2。

该厂现有三套加工装置，老厂是1917年建成的，年产量占总量的19%，第二套是1934年

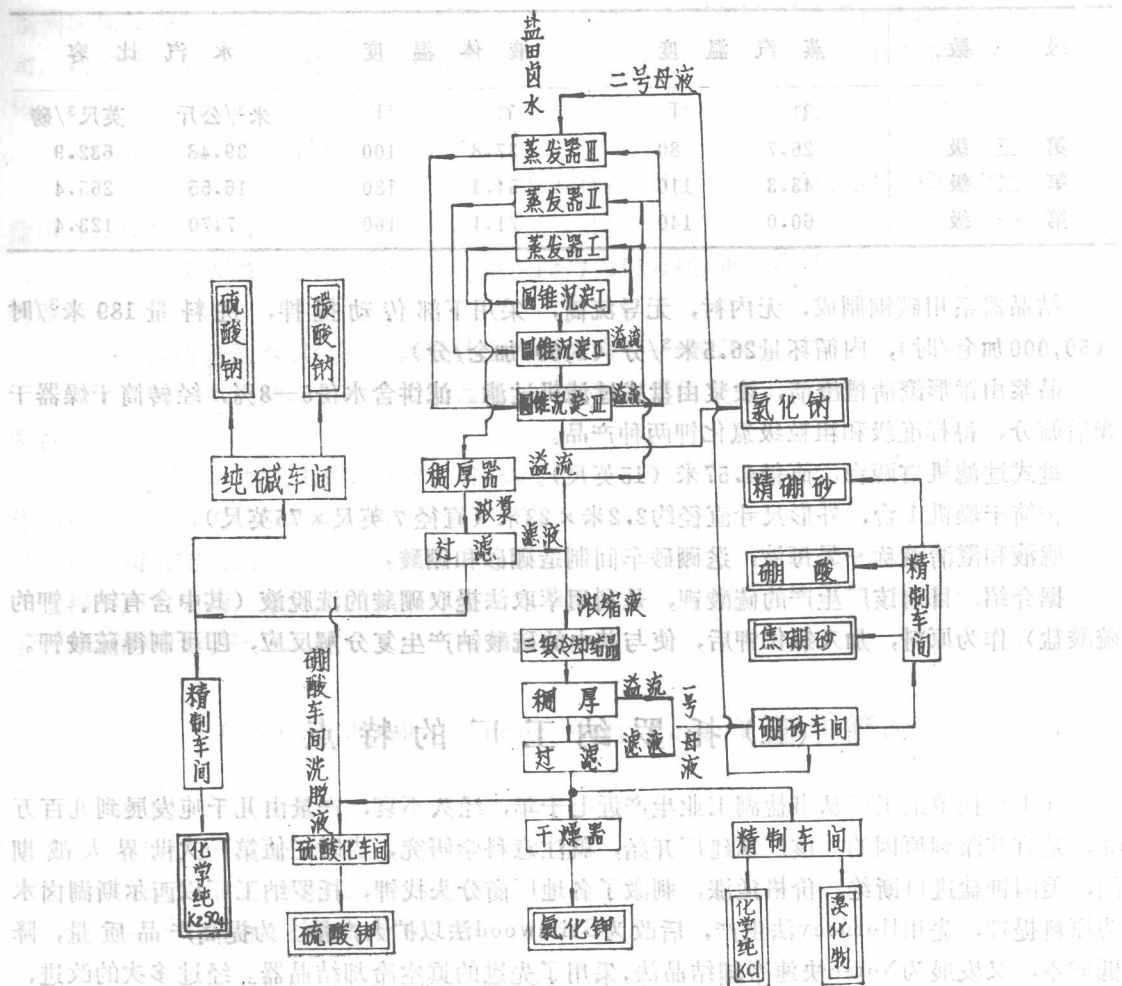


图1—2 托罗纳工厂工艺流程图

建成的，占总量的26%；新厂是1961年建成的，占总量的55%。

现以第三套装置来说明该厂的工艺过程。

盐田卤水与硼砂厂的老卤水以3:1的比例混合，先作为氯化钾真空结晶器的冷凝器的冷却介质被加热后，经换热器再加热，然后送入三效蒸发器的第三效进行蒸发。蒸发器的温度控制在100℃—113℃。蒸发过程中，分别析出氯化钠、碳酸钠矾、一水碳酸钠和少量磷酸二锂钠，直到氯化钾饱和。蒸发器的入料量为114米³/分(30,000加仑/分)，直径约6.7米(22英尺)，高约12米(40英尺)，其外围四象限有四个加热器，利用2.1公斤/厘米²(31磅/英寸²)的背压蒸汽加热，在蒸发器中装有立式循环离心泵，使卤水在蒸发器中循环流动。

结晶的各种盐在盐分离系统中分离出粗粒的氯化钠和细粒的碳酸钠矾和磷酸二锂钠，再分别用转鼓过滤机过滤，氯化钠含NaCl 97%，除少量用于离析碳酸钠矾外，其余全部废弃，而碳酸钠矾等送煮解工序处理，并制取锂盐、磷酸盐、碳酸钠和芒硝。

滤液和盐分离系统溢流出来的热浓母液在三级真空冷却结晶器中由113℃迅速冷却到38℃，并适量加冷凝水，使NaCl保留在溶液中，KCl大量析出。结晶器直径约4.6米(15英尺)，高约12—15米(40—50英尺)，其控制参数为：

级 数	蒸 汽 温 度		液 体 温 度		水 汽 比 容	
	℃	°F	℃	°F	米 ³ /公斤	英尺 ³ /磅
第 三 级	26.7	80	37.8	100	39.48	632.9
第 二 级	43.3	110	54.4	130	16.55	265.4
第 一 级	60.0	140	71.1	160	7.70	123.4

结晶器系用碳钢制成，无内衬，无导流筒，采用下部传动搅拌，进料量189米³/时（50,000加仑/时），内循环量26.5米³/分（7,000加仑/分）。

晶浆由锥形澄清槽澄清，浓浆由盘式过滤机过滤。滤饼含水份5—8%，经转筒干燥器干燥后筛分，得标准级和粗粒级氯化钾两种产品。

盘式过滤机有两台，直径4.57米（15英尺）。

转筒干燥机1台，外形尺寸直径约2.2米×23米（直径7英尺×75英尺）。

滤液和澄清液称一号母液，送硼砂车间制造硼砂和硼酸。

据介绍，目前该厂生产的硫酸钾，是利用萃取法提取硼酸的洗脱液（其中含有钠、钾的硫酸盐）作为原料，加入氯化钾后，使与其中的硫酸钠产生复分解反应，即可制得硫酸钾。

（五）托 罗 纳 工 厂 的 特 点

（1）托罗纳工厂从事盐湖工业生产近七十年，经久不衰，产量由几千吨发展到几百万吨，是有其深刻原因的。该厂从建厂开始，就注意科学研究，当时正值第一次世界大战期间，美国钾盐进口断绝，价格猛涨，刺激了各地厂商分头找钾，托罗纳工厂以西尔斯湖卤水为原料提钾，先用Hornsey法生产，后改为Grimwood法以扩大产量。为提高产品质量，降低成本，又发展为Norse快速冷却结晶法，采用了先进的真空冷却结晶器。经过多次的改进，最后演变为最合相律原理的碱石法。碱石法综合加工晶间卤水，使产品品种由一两种增加到十余种，质量不断提高，产量不断扩大，成本逐年降低，增强了竞争能力，使该厂成为盐湖工业发展史上开发最早，坚持生产至今的典型。

（2）该厂利用当地的沉积粘土建设太阳蒸发池，离析无用的氯化钠，提高有用元素在卤水中的含量，并且根据地质勘探成果，利用盐湖内部的特殊条件，在蒸发旺季，将经过蒸发浓缩了的卤水打入地下贮存，待冬季不能蒸发时取出供生产使用。这样使卤水中K-B的含量较原卤水提高15—20%，稳定了工厂进料卤水的组成，减少了能量消耗，降低了成本。

（3）凯尔马基公司利用纯碱厂的废液溶解地下碱石矿，再重新抽上来作为工厂的原料，维持了开发区域的液体平衡，同时又利用了蕴藏在地下的极其丰富的碱石矿，扩大了原料来源，1978年该公司利用此法建设新厂，提高生产能力九倍。

二、大盐湖矿物和化学制品公司

大盐湖矿物和化学制品公司（Great Salt Lake Minerals and Chemicals Corporation，简写成GSL）位于犹他州奥格登（Ogden）西的大盐湖东北部的湖边上。它是得克萨

斯州休斯敦海湾资源和化学公司的子公司。GSL 是从事多种经营的以自然资源为基础的 公司，利用盐田法从湖水中提取农业和工业用的化学制品。综合加工厂于1971年建成并开始运转。

GSL的综合加工厂包括：

(1) 硫酸钾工厂，设计年生产能力为24万吨，目前生产水平已达15—20万吨/年，利用盐田钾盐镁矾矿为原料。

(2) 洗涤级的无水硫酸钠，设计生产能力为15万吨/年，现可年产5—10万吨，以芒硝为原料。

(3) 高质量的水氯镁石，年设计生产能力为5—10万吨，以30% $MgCl_2$ 卤水为原料；

(4) 窑干氯化钠，年产量为10万吨，以盐田产出的氯化钠（年产量达500万吨左右）为原料。

GSL的科研，加工工程，生产，销售，农艺（肥效）和运输工作中的专家们一起保持工作的最大效率。连续的产品研究规划和严格的质量控制过程保证维持GSL的高标准。

该公司很注意到将生态干扰减少到最低限度，太阳能提供了绝大部分所需要的能源，生产过程不产生废物，未利用的矿物仍返回湖中并且用特殊装置来控制粉尘的散发，因此消除了对环境的污染。

(一) 大盐湖 (Great Salt Lake) 地质简况

大盐湖位于美国犹他州的西北部，距盐湖城约200多公里，发现于1776年，是一个内陆闭流湖。湖泊长约120公里，走向为北北西，宽约19—32公里，面积约为3,500平方公里，是西半球的最大内陆湖。湖水最深点波动于9—15米之间，平均深度为5米。湖底起伏不大，侧翼斜度较平缓。由于盐类矿物的沉积，在湖的四周形成巨大的荒漠。

表2—1 大 盐 湖 盆 地 的 气 候

位 置	记录年数	温 度 (°C)			年降雨量 (毫米)		日 数/年**	
		年平均	极 端		雨	雪	32.2°C	0°C
			最 高	最 低			以 上	以 下
Antelope Island (安脱洛泊岛)	14	10.9*	43.9	-25.6	380*	414	72	140
Bear River Refuge (贝尔河地带)	29	9.9	40.6	-32.2	299	544	54	144
航空港 (盐湖城)	32	10.5	41.7	-34.4	353	1305	56	138
Tooele (图伊勒)	65	10.8	40.0	-26.7	393	1849	23	131

* 外推法求得，

** 1951~1960年记录

该地区气候波动较大，夏季干燥炎热，为主要蒸发季节，降雨主要发生在冬季和春季，大盐湖地区的气候要见表2—1。

大盐湖湖水的补给，主要来自三个方面：

(1) 河流水系的排水，盐湖东部的贝尔河，韦贝尔河和约旦河为主要的给水源。

(2) 大气降水，以雨水和溶雪的形式补给湖水。

(3) 地下水的渗入。

因该湖无洩水口，蒸发为其主要的排洩方式。在最近几年内，蒸发和补给的水量大致平衡。

1959年南太平洋铁路路基自海角点横贯大盐湖，将湖分成两部分。北部约占总面积的35%，南部被来自周围山系的河水所稀释。它接纳了大于95%的总流入水量，导致北部湖水较浓。其南北两部湖水的化学组成见表2—2。湖水水面海拔高度在1,277—1,283米之间变化，水位波动在6米之间。

大盐湖是古代邦维尔湖 (Bonneville Lake) 水体的残留物。在更新世，邦维尔湖湖水最大面积为51,800平方公里，水深300米，水面海拔在1,585米以上。当时的含盐量估计为0.5%。大约在3万年以前该区发生了气候变化，冰后期气温变得暖和，邦维尔湖湖水蒸发浓缩，湖体收缩并在其西部析出了盐类。含氯化镁的剩余卤水迁移到湖中。此外蕴藏在西部的含钙化合物被雨水冲洗到平坦地区，析出了石膏。在一万年以前，此化合物形成一道堤坝。雨水带着更多的含钙水流入湖时，溶解了西部的易溶盐。在大盐湖盆地剩下的KCl-NaCl溶液，现在聚积在温多佛地区的卤水中。

大盐湖湖水属硫酸盐型，硫酸镁亚型。盐类总储量为45亿吨。据美国地质调查的初步估计是：氯化钾1亿吨，氯化钠32.3亿吨，氯化镁2,100万吨，硫酸镁1,700万吨，硼60万吨，锂56万吨。

表2—2 大盐湖的典型盐水组成 (1963~1965年) (单位为ppm)

成 份	补 给 水*	湖 南 部		湖 北 部	
		最 小	最 大	最 小	最 大
硅	11	2.0	5.1	1.1	4.2
钙	62	126	342	164	312
镁	805	7100	11300	11200	13500
钠	7330	65100	86000	76000	85600
钾	616	4170	6700	6780	7740
锂	0.0	34	58	42	66
硼	0.0	19	46	29	52
重碳酸盐	303	369	473	477	523
碳酸盐	14	0	0	0	0
硫酸盐	1430	11400	24800	20000	27000
氯化物	12900	113000	149000	141000	155000
氟化物	0.6	3.8	5.8	4.8	6.0
溴化物	—	80	140	100	160
溶解固体**	25200	212000	286000	277000	296000
密度 (克/升)	1.011	1.153	1.218	1.214	1.223
pH值	8.3	7.5	7.8	7.4	7.7

* 在海角点与福里蒙脱岛之间，1965年10月采样

** 180℃时蒸发的残留物

(二) 钾镁盐资源的开发利用

1. 采卤、输送和盐田系统

来自大盐湖北部的湖水，用渠道引到1号泵站加以提升，经13.7公里的沟渠送往贝尔河西岸的预浓缩池。在这段输送中，要经过1.8公里长的木渡槽。预浓缩后的卤水经2号泵站升压后，跨过贝尔湖，再经3号泵站送往池系的东北角，由此进入氯化钠的结晶池，并借助于自流分配到各自的单池中。析出氯化钠后的卤水，用4号泵送往收获池（此处即为钾盐镁矾的结晶池）北端，再自流到各自的单池中去，直到开始析出光卤石前为止。析出光卤石后的母液，再送到3米深的贮池中，经冬天冷却使再析出光卤石。

大盐湖矿物和化学制品公司的盐田系统在1965年开始修建，1968年完成。原面积为52平方公里，后因生产需要再扩建17平方公里。目前总面积已达69平方公里。在1967—1968年期间，共处理了459万立方米物料，建成了长391公里、高1.8米的堤坝和道路，40公里长、8—10米宽的沟渠。此外，还有桥梁、渡槽和进水站等综合设施。

盐田系统分成预浓缩池、氯化钠池（水深约25厘米）和钾盐结晶池（水深约13厘米）。其中各池的面积分配约为：预浓缩池5.2平方公里，氯化钠池4.2平方公里，钾盐池19.5平方公里。氯化钠池最大约占总面积的2/3。全池系分成接近80个面积大小不等的单池，其中最小的为0.4平方公里，最大的为4.2平方公里。相互间用堤坝隔开（盐田布置见图2—1）。堤坝的坡度为1:10—1:12。其内芯用当地粘土为填料，外部用来自外地的砾石材料覆盖。池底的粘土层厚度可达250米左右。原抗压强度为0.3公斤/厘米²，后在粘土层上用湖水蒸发结晶出0.2—0.6米厚的氯化钠层（约需2—3年），使抗压强度增到0.9公斤/厘米²。这样才能适应重型机械开采的要求。该池系池底的渗漏度约为0.25毫米/24小时。

该公司所修建的盐田具有下列特点：

- (1) 利用当地和外地材料相结合的方法，并尽量做到就地取材，有较好的经济性。
- (2) 有很厚的粘层作为池底，减少了渗漏度。
- (3) 在贝尔河区加修一道外围填坝，以保护池系堤坝不受洪水所冲击。
- (4) 沟渠经过有渗漏的地段，衬有塑料膜（聚乙烯或聚氯乙烯），以防止渗漏。
- (5) 较好地根据盐田工艺过程的物料平衡来布置单池位置和面积的分配。

据介绍，该公司年产24万吨硫酸钾工厂的建成和投产并能在经济上获利，在很大程度上取决于盐田新工艺研究的成功。他们花了多年时间，研究了湖水在当地自然条件下，利用盐田日晒来制取高纯度钾盐镁矾的相化学。其主要机理是：在一定时间和卤水浓度下，将池系中不同组成的卤水相互混合，并将盐田作业和工厂生产结合起来。如利用工厂母液来调节卤水组成等，来促使钾盐析出阶段的卤水进入钾盐镁矾区，使卤水中的钾离子主要以钾盐镁矾形式析出，并使氯化钠和光卤石的析出量减少到最低限度，从而提高了钾盐镁矾的纯度，可直接作为化学加工厂加工成硫酸钾的原料。其具体工艺过程简述如下：将北部湖水（含0.6% K, 1% Mg, 2% SO₄, 14% Cl, 7—8% Na, 70ppmLi和少量的钙和溴），先在预浓缩中浓缩到接近氯化钠的饱和点（19—21% NaCl, 28—30%总盐量）后，进入氯化钠结晶池，使之析出绝大部分的氯化钠。然后将母液送入另一池中，用池系内一定组成的卤水加以混合并调节其组成，随之析出MgSO₄·7H₂O和少量氯化钠。将该母液送入钾盐镁矾结晶池，结晶出钾盐镁矾（厚度可达30厘米左右），并含有少量的氯化钠和泻利盐，直到光卤石析出点为止。

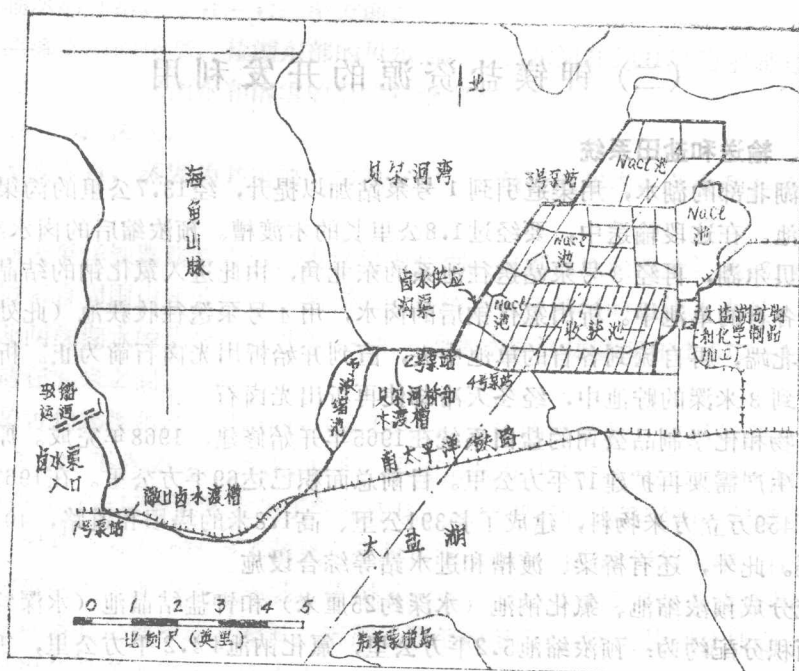


图2-1 大盐湖盐田池系布置图

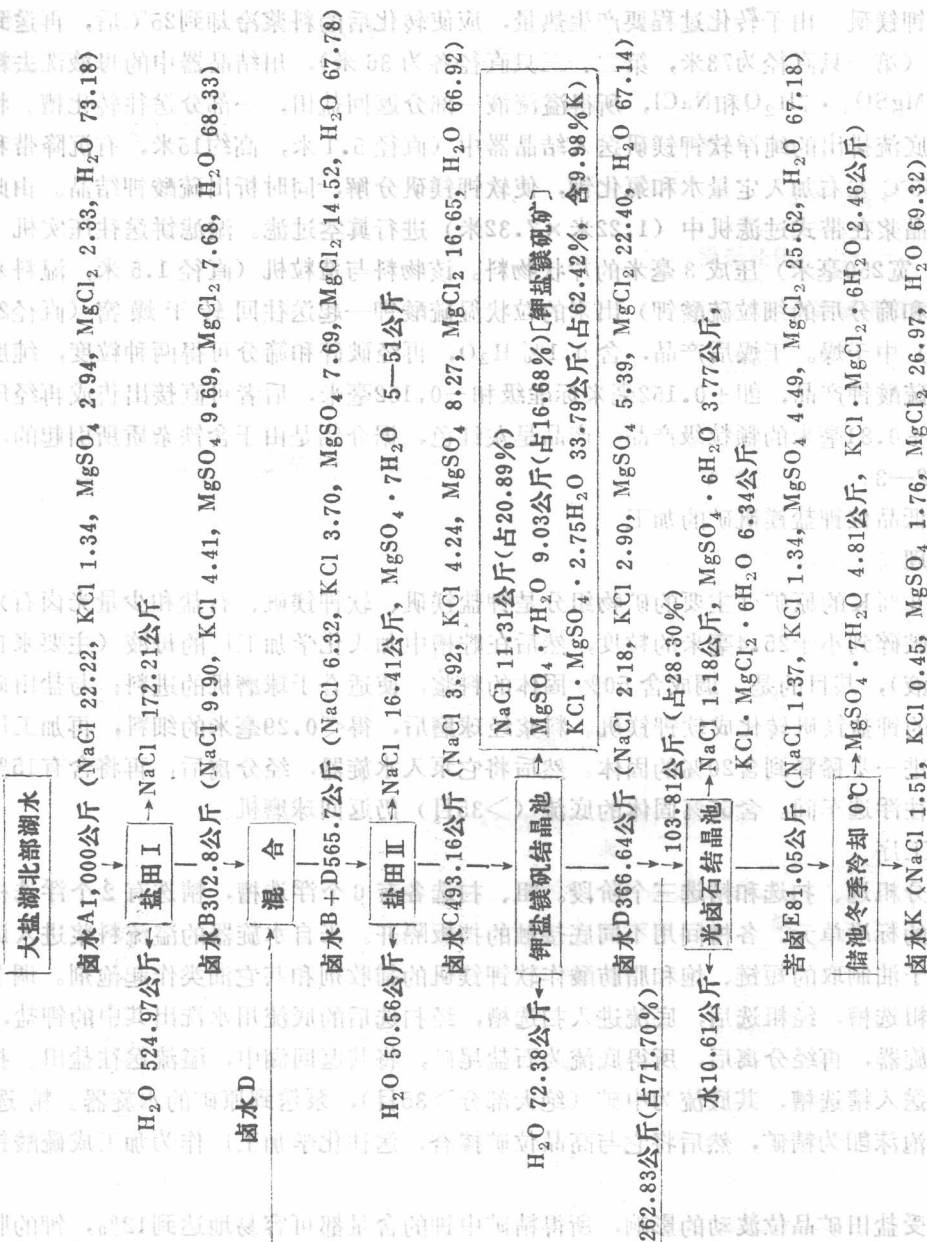
据介绍，在钾盐镁矾结晶过程中，首先有一部分低品位钾盐镁矾析出（含 2—8% K），含氯化钠较高，应用浮选法除去。后一部分析出的是高品位钾盐镁矾（含 13% 以上的 K），可直接用作化学加工厂的原料。析出钾盐镁矾后的卤水送往另一池结晶出光卤石，最后将母液排放到 3 米深的储池中，经冬季冷却后进一步析出部分光卤石。将两次析出的光卤石混合在一起，使与钾盐镁矾的饱和溶液相接触，这将使全部光卤石转化为钾盐镁矾。析出光卤石后的母液为氯化镁饱和卤水，该公司本拟将它用来加工成高纯度的水氯镁石，但因销路问题，建成的工厂至今仍未开始运转。

氯化钠池中每年可产出 500 万吨左右的食盐，采收的仅达 50 万吨左右，其余部分用贝尔河河水溶解再返回到南部的湖水中。

图2-2是利用大盐湖北部湖水采用盐田法生产高品位钾盐镁矾的工艺流程示意图并附物料平衡及各阶段卤水的组成。该流程未利用工厂母液，但钾盐镁矾矿中钾离子含量已接近 10%。如采用现有方法，将其中初期析出的低品位部分分开，估计可得到直接应用于化学加工厂加工成硫酸钾的原料。

盐田矿的采集是先将各结晶池的母液疏干，然后用采盐机进行旱采。采盐机是该公司自己设计的，用 100 左右马力拖拉机牵引的链板式联合采盐机。采集过程用水压系统升降铲头，经人工调节来控制矿层被采的适宜厚度，以保护氯化钠池底。铲出的矿，经 1.3 米左右长度的链板送往顶部，经皮带输送到两端装入卡车。联合采盐机的生产能力为 500 吨/小时。每辆卡车的氯化钠装载量为 25 吨，钾盐镁矾为 35 吨。此外，还有平地机，前端式装料机和推土机等辅助设备。在现场看到，氯化钠是先用推土机集中成条行状的，然后用采盐机采集。

钾盐镁矾矿的硬度比氯化钠大，需要更多的动力来破坏矿层，而且对设备有较强的腐蚀性。光卤石矿在夏天成糊状，不易采集，可疏干后，放置到冬天采集。所采集的光卤石中含 20% 左右的母液。



2. 盐田矿的加工

(1) 高品位钾盐镁矾矿的加工

原矿先在三只串联的冲击式破碎机中破碎,使粒度达到 -0.154 毫米,然后送到带有搅拌装置的浸提转化槽中(直径 4.9 米,高 6.1 米)并加入第二只增稠器的溢流液,使钾盐镁矾转化为粗软钾镁矾。由于转化过程要产生热量,应使转化后的料浆冷却到 25°C 后,再送到三只增稠器中(第一只直径为 73 米,第二、三只直径各为 36 米),用结晶器中的母液洗去粗软钾镁矾中的 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 NaCl ,所得溢流液一部分返回盐田,一部分送往转化槽。将第三只增稠器底流排出的纯净软钾镁矾送入结晶器中(直径 5.1 米,高约 15 米,有沉降带和搅拌带),在 55°C 左右加入定量水和氯化钾,使软钾镁矾分解,同时析出硫酸钾结晶。由此排出的硫酸钾晶浆在带式过滤机中($1.22\text{米} \times 7.32\text{米}$)进行真空过滤。湿滤饼送往压实机(直径 900 毫米,宽 250 毫米)压成 3 毫米的片状物料。该物料与造粒机(直径 1.5 米,湿料来自干燥窑粉尘和筛分后的细粒硫酸钾)出来的粒状湿硫酸钾一起送返回转干燥窑(直径 2.13 米,长 11 米)中干燥。干燥后产品,含 0.1% H_2O ,再经破碎和筛分可得两种粒度,纯度为 96% 以上的硫酸钾产品,即 $+0.152$ 毫米标准级和 -0.152 毫米,后者可直接出售或再经压实成 $-1.54 \sim +0.81$ 毫米的颗粒级产品。产品呈灰红色,据介绍是由于含铁杂质所引起的。工艺流程见图2—3。

(2) 低品位钾盐镁矾矿的加工

① 前处理

含 $2 \sim 8\%$ K 的原矿(主要的矿物组分是钾盐镁矾、软钾镁矾、石盐和少量光卤石)先在破碎机中破碎到小于 25.4 毫米的粒度,然后在贮槽中加入化学加工厂的母液(主要来自硫酸钾结晶母液),其目的是,调成含 50% 固体的料浆,使适合于球磨机的进料;与盐田矿反应,使其中的钾盐镁矾转化成软钾镁矾。料浆经球磨后,得 <0.29 毫米的细料,再加工厂母液,将矿浆进一步稀释到含 20% 的固体。然后将它泵入水旋器,经分离后,再将含有 15% 固体的溢流送往浮选车间。含 55% 固体的底流(>35 目)仍返回球磨机。

② 浮选工序

本工序分粗选、扫选和精选三个阶段。粗、扫选各有 6 个浮选槽,精选有 2 个浮选槽,每槽为矩形的标准单元。各槽间用不同底接触的挡板隔开。来自水旋器的溢流料浆进入调节槽加入由椰子油制取的短链、饱和脂肪酸作软钾镁矾的捕收剂和其它油类作起泡剂。调节后的料浆送入粗选槽,经粗选后,底流进入扫选槽,经扫选后的底流用水洗出其中的钾盐,再泵入另一水旋器,再经分离后,所得底流为石盐尾矿,将其返回湖中,溢流送往盐田。扫选的溢流泡沫送入精选槽,其底流为中矿(绝大部分 >35 目),泵送到原矿的水旋器。精选和粗选的溢流泡沫即为精矿,然后将它与高品位矿掺合,送往化学加工厂作为加工成硫酸钾的原料。

本法不受盐田矿品位波动的影响,所得精矿中钾的含量都可容易地达到 12% ,钾的收率可达 $75 \sim 90\%$,石盐除去率为 $87 \pm 7\%$ 。当有经验的工人操作时,精矿的平均品位可达 14% K 。(软钾镁矾中钾的理论含量为 19%)。

为了提高泵取和管道输送效率,应设法消除精矿中的气泡。可利用卤水喷射、空气冲击和加折流板等办法加以部分控制。但为了较好地消除气泡还需加消泡剂。

浮选法加工流程见图2—4。

本厂生产能力为 120 吨矿/小时(经换算每年可提供生产 7 万吨左右硫酸钾的原料)。建

北部湖水 → 水 → 盐田 → NaCl, MgSO₄ · 7H₂O

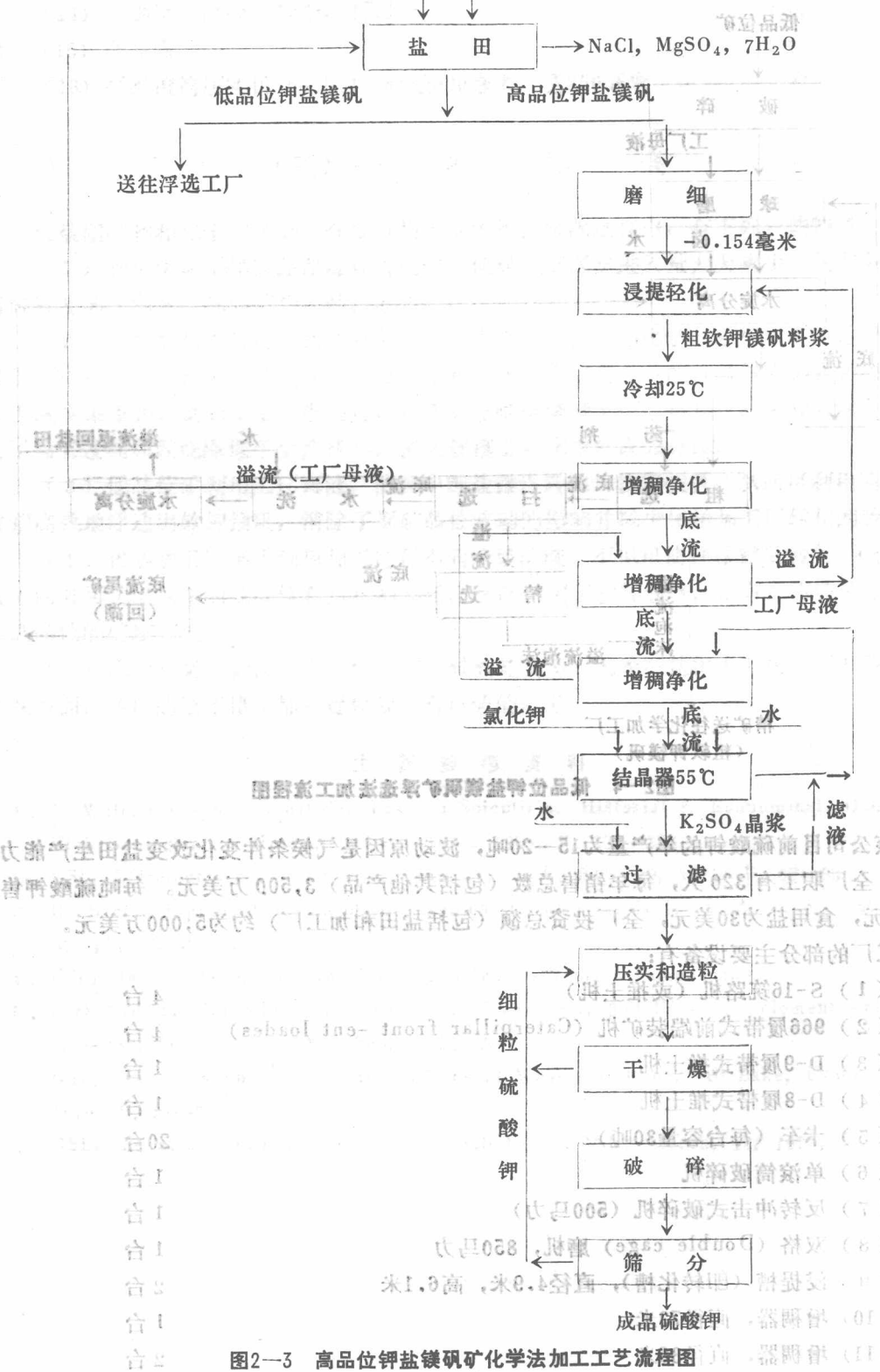


图2-3 高品位钾盐镁矾矿化学法加工工艺流程图