

盐田卤水蒸发过程的研究进程

张 军

(中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008)

摘要: 通过国内外盐湖基本情况和工业化开发现状综述,介绍了盐湖卤水在天然蒸发过程中的有关理论和应用研究进展。从盐湖化学工程角度提出了盐湖卤水蒸发过程研究需要进一步解决的问题,这些问题涉及到制约我国多种体系盐湖进一步高效有序开发和综合利用发展,从化学工程理论和实际生产过程有机结合进行研究,将对盐湖开发产生一定的推动作用。

关键词: 研究; 蒸发过程; 盐湖卤水

中图分类号: T S38 文献标识码: A 文章编号: 1008-858X(2000)01-0063-08

无机盐溶液作为电解质溶液,是人们在生产活动、科学研究以及日常生活中经常接触的對象,对它的研究有比较悠久的历史。从化学热力学平衡角度,无机盐水溶液的热力学性质有许多成熟的成果。但它的许多基本问题到目前尚未得到解决。1973年由美国科学家 K. S. Pitzer 提出的一个半经验的统计力学理论——离子相互作用模型^[1,2],能较准确地计算从很稀到很浓的电解质溶液的热力学性质,并且由电解质纯溶液的性质和参数,加上新的参数后可以计算混合电解质溶液的性质。Pitzer 理论基本解决了电解质溶液在热力学平衡态方面溶液性质的基本问题;另外,还有经典的和新发展起来的许多稀溶液理论和模型以及它们的推广。但对多组份、高浓度卤水蒸发的生产过程中的应用有许多理论假设前提的限制和实现中的困难。

盐田生产中生产强度的提高从技术角度讲,主要的控制因素就是卤水的蒸发速率。而卤水的蒸发速率不但和当地的气象条件相关,而且与卤水的物理化学性质密切相关。由于气象条件的不可选择性和不可调控性,了解和研究卤水蒸发速率的内在性质和外在表征的主要手段,就是研究和认识盐田卤水水体与外界的质能交换和卤水水体在蒸发浓缩过程中内部的传递现象及其规律。作为一个面向实际生产过程的研究内容,则更应着重于它的动态的变化规律。研究的主要内容有两个方面:卤水蒸发过程中的内在传递现象和规律;卤水蒸发速率的实际测定和应用研究。

盐田卤水蒸发的研究内容主要包括:某种体系盐湖卤水针对某种生产目的蒸发结晶路线的测定研究和生产工艺路线的分析确定;卤水在特定地理环境和气象条件下的蒸发特性和卤水中无机盐的结晶特性;特定生产目的的盐田操作方式和盐田生产方案下的盐田作为反应器的蒸发与结晶特征研究;盐湖所在区域的气象资料的积累分析和对盐田生产过程及特定盐湖卤水体系蒸发的影响过程及作用。其中,解决好盐田蒸发特征研究是一个关键的问题。这是因为蒸发的特征不仅是盐田、卤水体系、地理环境和气象条件共同作用的结果,同时蒸发的过程

收稿日期: 1999-11-19

作者简介: 张军,男,34岁,副研究员,主要从事化学工程专业。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

和行为决定着卤水中无机盐的结晶行为,即结晶速率、结晶矿物的种类组成、矿物的结晶粒度和结晶矿物的质量。因此,从盐田蒸发所涉及的众多领域来讲它是一个复杂的过程,从它对实际生产结果的直接影响作用来讲,又是一个重要的具有实际意义的应用研究。

1 国外研究现状

国外在太阳池(盐田)研究和开发方面,较之国内先进,到八十年代,已经形成了巨大的开发规模。它们在此领域中的研究主要有三个方面:一是传统意义上作为盐湖或海水无机盐分离目的的盐田理论研究和应用研究;二是作为新型的化学反应器在分离、提取、湿法冶金等方面的研究;三是利用太阳能进行浓差贮能发电方面的理论研究和应用研究。在近十年左右,盐田(太阳能)研究的方向是将其多种功能综合到一起,作为一个全新的综合意义上的系统工程进行研究和开发。

另外,盐田(太阳池)的研究具有一定的地域性,也就是说,这种研究是随着盐湖的地域分布而展开的。世界上在盐湖开发方面研究程度较高的典型主要有以下几个地域^[3,4]:美国西尔斯盐湖,以色列和约旦共有的死海(Dead Sea),美国大盐湖(Great Salt Lake),智利阿塔卡玛盐湖(Salar De Atacama)及其它盐湖。

以上盐湖是世界上开发深度最好的几大盐湖,对这些盐湖的研究开发历史,基本是代表了国外盐湖研究的发展阶段和水平。现分别进行简要介绍后对有关盐湖卤水蒸发方面的理论研究和应用实践进行综述。

1.1 西尔斯盐湖

位于美国加利福尼亚州,长 64km,宽 40km,面积约 1000km²。当地地理环境特征和气象特征为:湖区海拔 516m,属典型的沙漠气候,年蒸发量为 960mm,年降水量为 102mm。相化学特征属于 Na⁺, K⁺, Mg²⁺ // Cl⁻, CO₃²⁻—H₂O 碳酸盐型五元水盐体系。该湖于 1917 年建厂生产氯化钾和硼砂。主要的原料加工方式为人工强制蒸发浓缩。直至七十年代,为了节约燃料,节约能源,凯尔马基化学公司采用盐田法(4~86km²)部分地进行卤水蒸发浓缩。近年来该湖的开发已有新的发展。

1.2 死海

死海是一个无泄水口的表面水湖。1929 年发现其中盐类资源有巨大的利用可能性,该湖水面积约超过 1000km²,容积为 136km³。它的地理环境和气象特征为:海拔—400m,是地球表面上的最低点。夏季气温为 25~40℃,最高达 50℃,年平均降水量为 50mm,年蒸发量为 1700mm,平均相对湿度为 30~40%,最高达 45~50%。其相化学特征属于 Na⁺, K⁺, Mg²⁺ // Cl⁻—H₂O 氯化物型四元水盐体系。1930 年~1931 年以色列在死海北部建立了第一个生产氯化钾和溴的工厂。属以色列化学制品公司的死海工程公司是主要的开发商。该公司目前氯化钾生产能力已超过 200 万吨。约旦的阿拉伯钾盐公司(APC)始建于 1956 年,但于 1982 年才建成用冷分解——热溶法加工盐田光卤石矿生产氯化钾的工厂,设计氯化钾生产能力为 120 万吨,于 1986 年达产。

死海工程公司现有盐田面积超过 130km^2 , 生产时水深控制在 $0.8\sim 1.6\text{m}$, 采用连续走水方式, 盐田工艺作业均由电子计算机模拟控制。约旦的阿拉伯钾盐公司现有生产能力 $12\times 10^5\text{t}$ 氯化钾, 有盐田面积超过 $100\times 10^4\text{km}^2$, 盐田系统按工艺要求分布, 盐田中水深控制在 $1\sim 2.8\text{m}$, 目前该公司正建设其它工厂以及和外国合作进行更大规模的开发。

1.3 大盐湖

大盐湖位于美国犹他州西北部, 1776年被发现。其地理环境和气候特征是: 大盐湖是一个内陆封闭的湖泊, 属表面水湖。该湖长 120km , 宽 $19\sim 32\text{km}$, 面积约为 3500km^2 。海拔为 $1277\sim 1283\text{m}$ 。该湖所在盆地年平均温度约 10°C , 最高为 40°C , 最低为 -30°C , 年降雨量为 355mm , 年降雪量为 1028mm 。夏季气候干燥炎热, 为主要的蒸发期。该盐湖的相化学特征属于 $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+} \parallel \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ 的硫酸盐型五元水盐体系。1880年~1915年已有 20 多个不同公司在湖边建厂生产氯化钠。1967 年大盐湖矿物和化学制品公司开始工业规模盐田和工厂的建设, 并于 1970 年底开始运转, 标志着从该湖进行盐湖矿物工业规模回收的首次成功。七十年代后期, 成功地进行大规模硫酸钾的生产。可以说这个结果主要取决于盐田工艺研究的成功。

此外, 美国凯瑟 (Kaiser) 化学制品公司利用大盐湖荒漠的邦维尔盐滩蓄水层中高质量的卤水经盐田蒸发浓缩生产氯化钾产品。其盐田面积达 30.8km^2 。国家锂公司也利用 101km^2 盐田将湖水浓缩后制取金属镁等产品。

在以上的生产过程中, 主要是利用盐田蒸发进行产品或初级产品的加工, 而太阳能提供了绝大部分的能量来源。

1.4 阿塔卡玛盐湖

阿塔卡玛盐湖位于智利北部, 是一个结有盐壳的干盐湖。其地理环境和气候特征为: 该湖的盐核心面积为 1400km^2 , 盆地面积为 3000km^2 。海拔 2300m , 年降水量为 $20\sim 50\text{mm}$, 淡水蒸发量为 3833mm , 全年温度波动范围为 $-1^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$ 。相对湿度可低到 9% , 风能资源丰富。这种特征比较接近于我国青海柴达木盆地众多盐湖的情况。其相化学特征为 $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+} \parallel \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ 硫酸盐型五元水盐体系, 是一个富含硼锂的硫酸盐型卤水。1975年~1979年智利开发公司首次对该湖进行详细的开发研究, 并于 1982 年与美国合作进行工业性开发。20 世纪 90 年代以来, 该盐湖形成了锂盐、钾盐等综合开发利用, 其开发技术处于世界领先水平。目前该湖成为世界上开发程度最好的盐湖之一。

除以上几个主要的开发程度较高的盐湖外, 还有美国内华达州的银峰地下卤水, 前苏联卡拉博加兹哥尔海湾, 澳大利亚的 Mcleod 盐湖卤水等利用盐田进行各种无机盐产品的生产。

1.5 有关盐湖卤水蒸发的理论研究和应用实践

从世界各国盐湖开发利用的成功经验可知, 重视盐湖卤水水盐体系的相化学研究和作为工业生产的盐田工艺的研究是一个重要的方面。另外, 国外盐湖同我国盐湖一样, 一般都具有相同的地理环境和气象特点: 干旱, 多风, 少雨, 相对湿度低, 降水量少, 能充分利用太阳能等。另一方面, 各个盐湖具体条件又有极大的差异, 这要求在开发研究中必须从每一个盐湖的具体情况出发进行研究。

在这个领域的研究中,结合具体盐湖卤水所属的水盐体系和环境条件以及气象条件进行盐田卤水蒸发动力学研究是一个核心课题。从本世纪上半叶随着盐湖资源开发工业的兴起,有关盐湖卤水和海水蒸发方面的研究就在不断进行。

1927到 1934年,由 Lee C. H, Robwer Carl和 Adams Thomas C, 以及 Young A. A.^[5-8]对美国大盐湖和其它一些卤水进行蒸发研究后指出,氯化钠水溶液中盐度每增加 1%,则氯化钠溶液的蒸发速率减少 1%,这是比较早的有关卤水蒸发速率的研究成果。

1952年 Ferguson从此领域中最基本的道尔顿方程 (Dalton equation) [$E = K(P_w - P_a)$],其中: E 为淡水蒸发量; K 为水表面传质系数,它是水平风速的函数; P_w 为水表面蒸气压; P_a 为空气中的水蒸气分压。出发,推导了一个以卤水中盐度为函数的卤水蒸气分压作为参数的相对蒸发速率的关系式。并得出如下的结论:对于碱金属和碱土金属盐来说,卤水蒸气压的减少和浓度之间存在一个近似线性的关系:

$$P_w = \beta_0 + \beta_1 \cdot C_x$$

式中: P_w 为卤水蒸气压; β_0, β_1 为常数; C_x 为溶解盐的浓度

这个关系式在理论上有较好的指导意义,它表明了卤水蒸发速率的变化是由于在水中溶解的盐的种类和组成而改变了水体的饱和蒸气压所引起的。但在实际过程中,由于它的参数测定困难,尤其是卤水蒸气压的测定在天然状态下影响因素众多,所涉及的内外条件变化频繁和复杂,在实际应用中存在较大的困难。

1958年 Bonython等^[9,10]通过对密度范围为 1.03~ 1.24g/cm³的海水和美国邦维尔盐湖密度范围为 1.20~ 1.30g/cm³的卤水以及阿塔卡玛盐湖密度范围为 1.23~ 1.35g/cm³的卤水的蒸发试验,测定了一定时间周期内的不同组成卤水的蒸发速率,同时进行了对淡水蒸发量的测定。其结论认为:在盐田中进行蒸发浓缩的氯化钠饱和溶液的淡水的相对蒸发速率与 MgCl₂浓度具有高度的相关性,可用线性或几何形式来表达。最终给出了一个单因素的模型:

$$ev = a_0 + a_1 C(MgCl_2)$$

式中: a_0, a_1 是常数, $C(MgCl_2)$ 是氯化镁浓度。

它适用于 Na⁺, K⁺, Mg²⁺ // Cl⁻, SO₄²⁻—H₂O 五元水盐体系中镁离子含量小于 90~ 11g/L 的卤水的相对蒸发速率的预测,这个结果和由道尔顿方程出发推导出的以卤水蒸气压为参数的 Ferguson方程具有形式上的一致性。

David. S. Batto在“溶解开采中作为矿物提取手段的盐田”一文中对盐田所涉及的地表环境^[11]和气象学等 6个主要因素作了总结性的论述,对盐田蒸发中外界条件和外界影响因素作了论述。

1983年 Martin E. Laborde在详细总结了以前有关卤水和海水蒸发的理论和实践的研究成果后^[12],系统地推导和说明了 Ferguson方程在预测卤水和海水蒸发方面的理论模型和应用说明。

1987年 Atul M. Salhorta, E. Eric Adams和 Donald R. F. Harleman^[13]通过对地中海和死海卤水的蒸发实验中测定的工作数据的分析,从理论上研究了卤水盐度和温度共同影响下的卤水蒸气压,并从蒸气压原理出发推导出了一个与更准确地预测湖水蒸发的一维模型,这个模型最基本的出发点依然是道尔顿方程,但它从盐度和环境温度两方面对卤水蒸气压出发来解决淡水与卤水的蒸气压的差别,也就是解决卤水和淡水蒸发速率的比率问题。

在应用方面,作为一种生产中非常实用的参数和模型,国外也提供了许多应用方面的理论和研究方法研究^[14-17]。在世界范围内,美国的大盐湖和西尔斯盐湖等、以色列的死海、智利的阿塔卡玛盐湖、澳大利亚等,早已进行大规模开发利用时期,在这方面的研究和应用是卓有成效的。

进入 20 世纪 90 年代以来,由于盐湖开发工业化程度的不断加深和盐湖开发产业中竞争日趋激烈,涉及到直接用于设计和生产过程管理与控制的技术数据和应用研究成果,由于技术保密和其它原因,很少在文献中进行报导。这也使得在有关应用方面借鉴国外先进成果技术存在较大的困难,同时有必要对我国一些典型的盐湖进行研究。

在卤水蒸发过程中的传递现象和规律方面,国外更多的研究成果是偏重于太阳池中浓度梯度分布及传递现象的研究^[18-21]。这与世界能源危机、能源需求和环境保护密切相关。研究太阳池的目的和盐田的目的不同,是以盐梯度效应来利用太阳辐射能,达到集热贮能的效果。但对它的深入研究非常有助于理解盐田中卤水的蒸发行为及其传递规律。

2 国内研究现状

我国在盐田(滩田)海水(卤水)蒸发方面的研究,主要是结合沿海地区海水制盐生产实际,对海水蒸发浓缩过程中的海水蒸发速率进行过比较多的测定试验和理论分析。研究主要是以海水(卤水)与淡水相对比蒸发速率的形式来获得海水(卤水)相对蒸发比值^[22-24],并通过用查表计算或计算平均公式的方法加以应用。其主要的处理对象是从不饱和的海水到氯化钠饱和及氯化钠结晶过程的卤水蒸发,包括一个不饱和卤水的蒸发阶段和氯化钠的结晶阶段。其海水的浓度变化在 $2 \sim 28\text{Be}^\circ$ ($1.014 \sim 1.241\text{g/cm}^3$),最高上限为 32Be° (约 1.285g/cm^3)。

在这些研究中,主要有王金福以理论分析和数学演绎为基础^[22],探讨了卤水平平均比蒸发系数的机制,给出了一种考虑和不考虑渗透影响时的卤水比蒸发系数。其中考虑渗透影响时的卤水平均蒸发系数的计算式为:

$$F_k = \frac{[99.85(1+A)] \int_{B_0}^B \frac{[(100-B_0)/(B_0-0.15)]^A - [(100-B)/(B-0.15)]^A}{(100-B)^A dB / [(1-aB^{1.825})(B-0.15)^A]} dB}{1}$$

式中: B_0, B 是海水在蒸发过程中的浓度区间; A 为常数。

此式中的被积函数为不可积函数,可在计算机上进行数值积分求解。

关岳直接用试验数据归纳总结了卤水蒸发系数与卤水密度及相对湿度之间关联的经验表达式^[25]:

$$F = 1 - (1.978R - 0.0167) \times 10^{-3} \times B^{1.825}$$

式中, R 为大气相对湿度; B 为卤水 Be° ($2 \sim 28\text{Be}^\circ$, 即 $1.014 \sim 1.241\text{g/cm}^3$)。

梁胜予在 1982 年发表文章^[26],对海盐工艺设计和生产技术中两个任意起止浓度间的卤水平均比蒸发系数的计算方法进行了比较,主要是对目前在海盐生产中所普遍采用的卤水比蒸发系数的诸方法对我国沿海尤其是东北地区的海盐生产的适应性作了讨论。

张士宾等在 1981 年也曾作过测定和研究^[27],通过正交试验和回归分析方法建立了在等温条件下卤水蒸发速率的二元关系式:

$$F(\text{Be}) = \frac{1 - 0.004025d^{1.2466}}{1 - R}$$

式中, d 为任一点组成的卤水密度 (Be°); R 为当地相对湿度 其应用条件为等温蒸发过程

门腾春也对不同制结晶方法下的卤水比蒸发系数的影响进行了分析^[23]。

在国内, 高浓度盐湖卤水 (起始密度大于 $1.24/\text{cm}^3$) 的卤水蒸发速率方面的研究较少, 盐湖卤水的开发主要集中在我国北方的内蒙古自治区和青海省等, 尤其是以青海省柴达木盆地的察尔汗盐湖从五六十年代开始建设, 目前已建成了我国最大的钾肥生产基地 在盐湖资源开发的研究工作中, 中国科学院青海盐湖研究所在盐湖化学、盐湖地球化学、溶液化学以及应用开发方面作了大量的工作 在国家“七·五”重点科技攻关期间, 现中国科学院院士高世扬等测定了大柴旦盐湖卤水天然蒸发状态下的卤水相对比蒸发速率, 并比较详细地回归总结了不同季节时的卤水相对比蒸发系数与卤水组成 (或密度) 的关系式。

青海察尔汗盐湖最大的开发企业青海钾肥集团公司于 1987 年测定了察尔汗盐湖别勒滩区段卤水天然蒸发过程中卤水的卤水比蒸发系数, 并给出了简单的一元回归方程 在 20 世纪 90 年代后期, 青海盐湖集团公司总结了在其长期大模模盐田生产中的各种数据, 对主要原料光卤石的成矿机理和物性进行了总结分析^[28]。“九五”期间中国科学院青海盐湖研究所与青海钾肥集团公司共同开发了盐田自动观测和生产管理系统的研究, 这对氯化物型盐湖卤水在生产应用的研究有较大推动作用。

在国家“六·五”和“七·五”重点科技攻关中, 中国科学院青海盐湖研究所系统地测定了察尔汗盐湖卤水在石盐饱和阶段, 光卤石饱和阶段和水氯镁石饱和阶段的卤水蒸发参数和当地气象参数, 并给出了两个阶段的卤水比蒸发系数与卤水密度变化及相对温度之间的二元回归方程^[29, 30]:

石盐饱和阶段和光卤石饱和阶段:

$$F = 0.76 \times (571.905 - 0.525657R - 393.477d)$$

水氯镁石饱和阶段:

$$F = 1.98 \times [3.68 \times 10^{-12} \times R^{0.3826} \times \exp(39.8557/d)]$$

式中, F 卤水相对比蒸发系数; R 大气相对湿度; d 卤水密度。

中国科学院青海盐湖研究所在承担青海省“八·五”重点项目期间, 比较系统地测定了属于蒸发前期基本符合 $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+} \parallel \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ 五元水盐体系的东台吉乃尔盐湖天然蒸发过程及配合工艺要求条件下的卤水蒸发数据^[31], 并提出了卤水相对比蒸发系数与相对湿度及化学组成之间冬季与夏季不同的二元回归方程:

$$\text{冬季: } F_w = 65.50 - 2.87w_{\text{Mg}} + 0.031R$$

$$\text{夏季: } F_s = 58.16 - 3.99w_{\text{Mg}} - 0.092R$$

式中, w_{Mg} 卤水中氯化镁浓度 (%)。

在卤水蒸发过程中水体内部的质能传递现象和规律研究比较少, 仅针对太阳池集热贮能过程有一些初步的研究工作^[32, 33], 他们主要开展了太阳池内部的稳定性研究, 动力学稳定条件, 盐浓度的测定方法等, 并通过对一个面积为 20m^2 的太阳池的研究, 探讨了太阳池内部的盐浓度梯度分布、温度梯度分布和盐扩散规律的理论等。

3 强化盐田卤水蒸发过程研究

3.1 存在的问题

关于卤水蒸发速率的研究,目前主要存在着如下几方面的问题:

(1) 卤水蒸发速率的研究工作目前只侧重于生产实际,从理论角度的研究和探讨不足。尤其是未能将其提高到盐湖化学工程理论的高度进行系统的研究。另一方面试验中对实际蒸发过程中具有较大影响的外部条件简化较多,在生产工程实际中直接应用时存在一定的问题。

(2) 研究内容由于地区经济发展严重不平衡的影响,在此前相当长一个时期中,主要针对沿海制盐过程的稀海水(卤水)和水盐体系及蒸发结晶过程相对简单制盐过程。从目前经济发展战略的转移和更多种类与数量的无机盐资源的开发,转向国内分布广泛、贮量巨大的盐湖,对高浓度、多组份、不同体系、地理位置和气象条件差异巨大的特殊条件下的研究相对不足。

(3) 目前所采用的卤水相对蒸发速率的模型主要采用密度的关系式,但这种模型建立的前提条件有一些试验方法上的限制,或是现场测定中由于同一组成的卤水密度随温度变化很大,不能准确地应用于生产实际过程中来进行设计和进行过程管理与运行控制。

(4) 由于卤水蒸发过程中,其行为不但由卤水本身物理化学性质决定,同时要受到外部条件多种因素的影响,目前尚未有比较系统的数据来说明整个卤水蒸发过程中各参数之间的确切关系,并验证在理论推导过程中的假定。

(5) 在应用研究方面,由于我国科研体制与生产实际互相脱节的历史原因以及目前尚未完全转变的现实原因,不但在应用方面相对滞后,而且面向生产的研究也一直受到比较大的影响。目前还未形成比较好的应用研究成果。

3.2 应用新的技术手段,从化学工程理论的角度研究盐田技术

随着我国知识创新工程和国民经济结构调整战略的实施,盐湖资源的开发应用步入一个高效、有序、综合利用、保护生态环境的无害加工的新开发模式。这个模式应当突出经济效益性和可持续发展性。为此作为面向盐湖资源开发中的应用研究应当注意如下方面:

应用新的技术手段,尤其是应用计算机和数学模拟手段,从化学工程理论的角度,将盐田作为一类特殊的化学反应器或化工设备,对其在蒸发、结晶、分离、化学反应、浓差贮能方面的过程特征进行研究分析;考察盐田利用太阳能和其它自然能源为特点,与不可调控的气象、环境因素和盐湖卤水水盐体系性质相关的运行过程中质能传递机理的数学模拟和工程理论的描述,形成一般性的化学工程理论;注意研究和探索盐田作为化学反应器或化工设备时其它的和潜在的功能开发;注意进行相化学平衡和化工过程相结合的研究,探索热力学平衡条件下相化学变化规律和卤水在盐田中动态、非均相连续加工过程相关的内在规模性研究,建立相关的数据库,完成从热力学相平衡研究到实际加工过程的系统技术开发,改变目前二者研究相互脱节、盐田技术逐级放大的高投入、长周期试验手段,注重高效的开发模式对推动产业化的贡献。在应用技术方面注意实际盐田生产过程操作的自动化管理和控制以及经济性,注意研究有关盐湖卤水资源开采方案与盐田操作过程相配合,盐田操作过程与后续过程相衔接的系统性研究。

参 考 文 献

- 1 杨家振.适用于从稀释溶液到熔盐全部组成范围的电解质溶液理论——Hitzer电解质溶液理论的最新发展[J].盐湖研究. 1992, (1): 39- 45.
- 2 宋彭生.海水 25℃等温蒸发过程的理论计算[J].盐湖研究. 1990, (3): 16- 22.
- 3 曹兆汉.国外盐湖资源的开发利用[J].化工矿山译丛. 1992, 3(43): 1- 10.
- 4 曹兆汉.国外盐湖资源的开发利用[J].化工矿山译丛. 1992, 6(44): 1- 10.
- 5 Lee C. H. Discussion of evaporation on reclamation projects. By L. E. Houk. Transition[C]. A. S. C. E. 1927, 90 340- 343.
- 6 Rowher. Carl. , Evaporation from Salt Solutions from oil covered water surfaces[J]. Journ. of Agr. Research, 1933, 46 715 - 729.
- 7 Young. A. A. Some recent evaporation investigations. Trans[J]. American geophysics Union. 1947, 28(2): 279- 284.
- 8 Adams. Thomas C. Evaporation from Great Salt Lake[J]. Bull of American Meteorol. Soc. V. 1934, 15(2): 35- 39.
- 9 Bonython C. W. Factors Determining the Rate of Solar Evaporation in the production of Salt[J]. In Rau, J. L. (Ed) Second Symposium on Salt. 1966, 2 152- 167.
- 10 Bonython C. W. , D. M. Myers. The theory of recovering Salt from Seawater By Solar Evaporation[J]. Journ. Of Applied Chem. 1958- 4- 8.
- 11 David S. Batto. 溶解开采中作为矿物提取手段的盐田(译文)[J].盐湖研究. 1989, (3, 4): 126- 133.
- 12 Martin E. laborde. Detemination of Brine Evaporation Rates in Solar Ponds as a Function of Magnesium Chloride Concentration[C]. Sixth International Symposium on salt. 1983, 11 407- 416.
- 13 Tul M. Sachotra, E. Eric Adams, Donald K. F. Harleman. The Alpha, Beta, Gamma of Evaporation from Saline Water Bodies[J]. Water resources Research. 1987, 23(9): 1769- 1774.
- 14 Fernado Lde, et al. Solar Pond Design for the Production of Potassium Salts from the Salar de Atacama Brines[C]. Sixth International on Symposium Salt. 1983, 2 345- 353.
- 15 David S. Butts. Basic Solar Pond Modeling and Material Balance Techniques[J]. Salts and Brines. 1985 135- 141.
- 16 G. Lesino , L. Saravia(*). Solar Ponds in Hydrometallurgy any Salt Production[J]. Solar Energy. 1991, 46(6): 377- 382.
- 17 M. H. Jodhav. Recovery of Crystalline Magnesium Chloride- Hexahydrate by Solar Evaporation of Sea Bitterns[C]. Sixth International Symposium on Salt. 1983, 11(Salt institute): 417- 419.
- 18 F. Munoz , R. Almanza. A Survey of Solar Pond Developments[J]. Energy. 1992, 17(9): 27- 38.
- 19 Y. A. Gengel, M. N. Ozisik(*). Solar Radiation Absorption in Solar Ponds[J]. Solar Energy, 1994, 33(6): 581- 591.
- 20 D. Subhakar, S. Srinivasa Murthy. Saturated Solar Ponds I. Simulation Procedure[J]. Solar Energy. 1993, 50(3): 275- 282.
- 21 F. Zangrando. On the Hydrodynamics of Salt- gradient Solar Ponds[J]. Solar Eenergy. 1991, 46(6): 323- 341.
- 22 王金福等.卤水平均比蒸发的模型探讨及诸方法比较[J].海湖盐与化工. 1989, 18(3): 24- 29.
- 23 门腾椿.对不同制卤结晶方法的卤水平均比蒸发的研究[J].海湖盐与化工. 1984, (2): 6- 7.
- 24 王士弘.不同浓度苦卤蒸发量的测定[J].海湖盐与化工. 1983, 12(1): 14- 16.
- 25 关岳.不同湿度条件下不同浓度卤水比蒸发试验式的推导[J].海湖盐与化工. 1979, (1) .
- 26 梁胜予.关于卤水平均比蒸发计算方法的探讨[J].海湖盐与化工. 1982, (4): 14- 17.
- 27 张士宾,邵兵.海盐卤水比蒸发的测定与研究[J].海湖盐与化工. 1981, (4): 26- 31.
- 28 王石军.青海察尔汗盐湖深水盐田光卤石矿物化特性总结报告[J].盐湖研究. 1997, 5(1): 7- 9.
- 29 张军等.卤水比蒸发系数的数学模型——石盐和光卤石饱和阶段[J].盐湖研究. 1993, 1(2): 23- 27.
- 30 张军等.卤水比蒸发系数的数学模型——氯化镁饱和阶段[J].盐湖研究. 1993, 1(4): 45- 51.
- 31 张军等.东台吉乃尔盐湖卤水比蒸发系数测定及回归方程[J].盐湖研究. 1997, 5(2): 7- 12.
- 32 张宏飞,蒙沛南等.圆形斜壁氯化镁溶液太阳池梯度区温度分布的研究[J].太阳能学报. 1992, 13(4).

33 洪军,郑洪飞.太阳池温度的浓度分布的计算机拟合 [J].广西大学学报. 1993, 18(3)

The Development of the Study About the Process of Brine Evaporation

ZHANG Jun

(*Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008*)

Abstract Based on the basic information and the industrial development of the salt lakes in the world, the paper introduces the development of the theoretical and application study about the process of brine evaporation, then on the point of the chemical engineer, the paper gives some questions of brine evaporation process, these questions have controlled the development the how application and utilities complexly through saline resource, it will make the development advanced if the research of chemical engineering and reality production process are combined originally to do some research.

Keywords Research, Evaporation process, Saline brine.

(上接 62页)

Review for the 50- years History of the Chinese Potassium Salts and the Prospects

XU AN Zhiqiang

(*MCL Geological Institute for Chemical Minerals, Zhuozhou 072754*)

Abstract In the review of the 50- years history of Chinese potassium salts, the paper made an adequate description of Chinese salt lake resources with the features of abundance, richness and variousness etc., and a summarization of the achievements made by scientists as well. Some advice was also offered for the comprehensive utilization and optimum exploitation of potassium resources.

Keywords Salt lake, Potassium salt, Review, Advice.