

中国钾资源及钾肥发展战略

孙爱文^{1,2}, 张卫峰¹, 杜芬¹, 高利伟², 张福锁¹, 陈新平¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193;

2. 河北农业大学资源与环境学院, 河北保定 071001)

摘要: 中国钾肥消费逐年增加, 进口依赖度已高达70%, 国际钾肥价格的过快增长给国内钾肥市场带来了极大的影响。通过分析资源、工业生产、农田需求3个环节, 提出了我国钾肥发展的战略方向。我国现有钾资源可利用年度仅66年左右, 受自然条件限制钾肥产量增长困难, 需要根据钾肥需求合理调控资源利用和产业发展。通过技术优化和合理调配, 我国近期农田钾肥需求可以调控到400万~550万t K₂O。通过调控农田需求, 加强化学钾肥、土壤钾和有机钾资源的循环利用和补偿, 钾肥自给率在2010年可达55%, 2015年可达70%, 国际钾肥市场的冲击将逐步降低。但从长远来说, 我国仍要加强资源勘探, 加强国内、海外投资和国外钾资源三者之间的调配。

关键词: 钾肥; 资源; 战略; 中国

中图分类号: TQ443

文献标识码: C

文章编号: 0253-4320(2009)09-0010-05

China's development strategy on potash resources and fertilizer

SUN Ai-wen^{1,2}, ZHANG Wei-feng¹, DU Fen¹, GAO Li-wei², ZHANG Fu-suo¹, CHEN Xin-ping¹

(1. College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Resources and Environment Science, Hebei Agriculture University, Baoding 071001, China)

Abstract: Potash fertilizer consumption has increased significantly in China in the past several years, but 70% of potash fertilizer in China relies on the international market. Its rapid increasing price in international market has brought very big effects on China's market. An integrated analysis on the resource, fertilizer industry and agricultural demand is made and the developing strategy for China's potash fertilizer industry is put forward. The results present that the explored potash mines in China would be used up for 66 years, and the potash fertilizer production cannot be enlarged very fast in next few years because of the limitation of natural resources. This makes China have to regulate the utilization of resources and industrial development of potash fertilizer. By way of technological optimization and reasonable arrangement the demand for potash fertilizer in China can be controlled between 4 million to 5.5 million tons of K₂O before 2015. Therefore the domestic fertilizer production can reach 55% in 2010 and 70% in 2015 by controlling farmland demand and improving reuse and compensation of K in soil, inorganic and organic fertilizers. The impact from the international market will be reduced gradually, but in a long period of time China must strengthen the exploration of potash resource, and arrange well the domestic, overseas investment and resources.

Key words: potash fertilizer; resources; strategy; China

钾是肥料三要素之一, 是农业生产和粮食安全的保障性物资。随着人口增长、饮食结构变化、经济水平变化, 中国已成为世界主要的钾肥消费国。2001—2007年, 我国钾肥的表观消费量以10.7%的速度增长, 2007年达到历史最高峰, 为750万t(折纯K₂O, 下同)。虽然钾肥生产量以9.7%的速度增长, 到2007年我国钾肥的生产量达到了226万t, 但是我国钾肥自给率只有30%, 进口依赖度达到70%左右, 钾肥进口量从2001年的381万t增长到了2007年的574万t^[1]。我国钾肥需求和进口量的过快增长导致国际钾肥价格飞速攀升, 2005年中国钾肥谈

判在1000元/t的基础上增加了40美元/t, 2006年继续增长25美元/t, 2007年增长5美元/t, 3年间我国钾肥进口价增长了554元/t。2008年我国氯化钾价格达到700美元/t左右, 比2005年增长470美元/t, 其中2007年底以来暴涨了400美元/t^[2]。钾肥价格过快增长已经成为农业生产成本增长的主要原因, 而进口量不断增长已经成为限制农业持续发展的重要问题。近几年来国家针对钾资源和钾肥发展采取了多项措施, 包括钾肥进口渠道调整、钾肥价格管理、国内钾资源开发、周边国家钾资源开发等^[3]。但快速变化的国内外形势要求我们进一步明确钾肥

收稿日期: 2009-06-25

基金项目: “973”项目“主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究(2009CB118608)”;农业部“最佳养分管理技术研究与应用(200803030)”;国际钾肥研究所项目“中国主要作物钾肥施用与提炼研究”

作者简介: 孙爱文(1978-), 女, 博士生; 张卫峰(1978-), 男, 博士, 研究方向为化肥养分资源管理战略, 通讯联系人, 010-62733941, wfzhang@126.com。

发展战略。

1 国内外钾矿资源概况

1.1 国际钾矿资源长期供应充足,垄断严重

根据美国地质调查局统计资料,2008年世界钾盐资源储量为8.3 Gt(K_2O ,下同),基础储量为18.0 Gt。近些年国际钾矿资源是增长的,其中加拿大钾矿储量在过去5年中增长了1.3 Gt^[3]。全球现有钾矿资源可供开采230年以上(见表1),而主要生产国如加拿大甚至可达400年以上,如果考虑海水钾资源的利用,则世界上钾资源几乎是无穷的。

表1 2008年主要国家钾矿资源储量、开采量(K_2O)及可采年度^[5]

国家	经济储量/ Mt	基础储量/ Mt	产量/ 万 t	2002—2008年 产量增长/万 t	可开采 年度/年
加拿大	4400	11000	1100	280	400
俄罗斯	1800	2200	690	250	261
白俄罗斯	750	1000	510	130	147
德国	710	850	360	15	197
以色列	40	580	240	47	17
中国	8	450	210	165	4
约旦	40	580	120	0	33
美国	90	300	120	0	75
西班牙	20	35	59	18.3	34
智利	10	50	58	23	17
英国	22	30	48	-6	46
巴西	300	600	43	7.8	698
乌克兰	25	30	1.2	-4.8	2083
其他国家	50	140	0	—	—
全球	8300	18000	3600	925.3	231

然而世界钾肥生产和供应存在极大的不均衡性,钾肥生产主要集中在加拿大、俄罗斯、白俄罗斯、德国、以色列、约旦6个国家,这些国家储量占全球总储量的93%,产量占全球的89%,而世界五大钾肥生产商的氯化钾产能约占全球的65%,出口量约占80%以上^[4-5]。2005年以来,超大型国际化肥企

业控制市场能力进一步加强,国际钾肥供应商分别于1972年和2005年组成了2个钾肥出口公司 Canpotex 和 BPC 统一对外贸易,国际钾资源形成了高度垄断。2002年以来国际钾肥产量虽然增加了925.3万t,超过钾肥需求增长速度,但钾肥价格却增长了近500%,垄断的影响力得到充分显示。

1.2 中国钾资源自给困难,先天不足

据美国地质调查局资料,2008年我国钾资源的经济储量仅为800万t(K_2O),可开采年限为4年,基础储量为4.5万t,占世界的2.5%。根据我国最新资料统计,这800万t的经济储量仅考虑了我国云南勐野的固体钾资源矿,我国现开采的大部分钾资源主要是分布在青海柴达木盆地和新疆罗布泊的卤水钾资源,经济储量约1.65万t,基础储量约6.6万t,按照年开采250万t(K_2O)的速度,我国现有经济储量可开采66年左右^[6]。

我国不仅钾资源探明储量少,而且资源开采能力有限。我国现在开采的钾资源92%是卤水矿,随着生产规模的扩大,淡水供应问题凸出,估计进一步扩大产能,每吨 K_2O 的开采需要引入40t淡水,西北钾资源产地水资源的短缺将极大的限制了产能的扩张,估计2010年我国 K_2O 产量最多能达到300万t,2015年以后最大能够达到380万t,与2007年750万t的消耗量相比,我国自有钾资源在短期的供应能力和长期的保障度上都存在问题^[6-7]。在20世纪末期,我国曾设立了自给30%~40%,周边国家供应30%,进口20%~30%,其他为0%~20%的多元化钾肥发展策略。2004年11月我国就有公司正式签署了在老挝和泰国开发钾矿的协议,原计划2010年这两地钾肥产能达到100万t K_2O ,2020年前达到350万t K_2O ,但由于种种原因至今仍未投产。鉴于当前我国钾资源状况、开发情况和周边国家的进度,如果保持现有钾肥用量,我国仍难以摆脱依赖进口钾肥的束缚。

(上接第9页)

[45] Espinoza R L, Steynberg A P, Jager B, et al. Low temperature Fischer-Tropsch synthesis from a Sasol perspective[J]. Applied Catalysis A: General, 1999, 186: 13-26.

[46] Steynberg A P, Espinoza R L, Jager B, et al. High temperature Fischer-Tropsch synthesis in commercial practice[J]. Applied Catalysis A: General, 1999, 186: 41-54.

[47] Ji Y Y, Xiang H W, Yang J L, et al. Effect of reaction conditions on the product distribution during Fischer-Tropsch synthesis over an industrial Fe-Mn catalyst[J]. Applied Catalysis A: General, 2001, 214: 77-86.

[48] 陈松, 许杰. 煤焦油联合加氢裂化处理工艺及其采用催化裂化[J]. 现代化工, 2009, 29(3): 64-67.

[49] 常宏宏, 姚润生. 煤沥青燃料的研究和应用[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(4): 29-69.

[50] 曾凡, 胡永平. 矿物加工学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.

[51] 华泽桥. 神华煤与水煤浆产业化发展[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(5): 5-6.

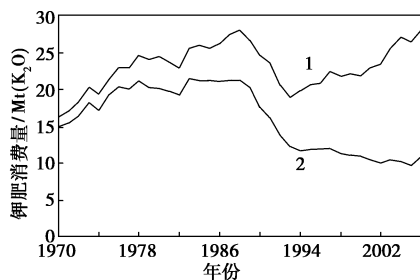
[52] 高洪阁, 田原宇. 油煤水浆生产与工艺的研究探索[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(2): 59-61. ■

2 国内外钾肥供需平衡状况

2.1 国际钾肥产能过剩

世界肥料工业协会 (IFA) 统计数据表明, 20 世纪 80~90 年代, 国际钾肥产能一度增长到 4 000 万 t 以上, 由于钾肥价格一直在 90 美元/t 以下波动, 国际钾肥供应商有意将开工率控制在 60%~70%, 钾肥产量一直保持在 2 500 万~3 000 万 t。

1993 年以来, 全球钾肥需求整体呈恢复性增长势头, 发达国家钾肥用量缓慢下降, 而发展中国家钾肥用量快速增长 (如图 1)。进入 21 世纪, 全球钾肥需求增速加快, 2001—2005 年钾肥需求年增长率为 2.7%。由于美国、巴西、印度、欧洲、东南亚等国家和地区发展生物能源的需要, 每年新增钾肥需求达 70 万 t (K_2O) 以上, 2006 年和 2007 年钾肥需求增长率分别达到 4.5% 和 6.0%, 2007 年钾肥需求更是达到 2 930 万 t^[8]。受需求增长的带动, 2007 年全球钾肥产量达到 3 409 万 t (K_2O), 产能达 4 120 万 t/a, 大部分生产国的产量都在增长。2008 年, 由于国际钾肥价格剧烈增长, 钾肥需求增速可能放缓。根据 IFA 预测, 到 2012 年, 全球钾肥产能将达到 5 030 万 t/a (K_2O), 产量可达 4 373 万 t, 产能增速将超过需求增长。若全部开工项目能够按计划进行, 2012 年全球过剩将超过 700 万 t (K_2O)^[5]。



1—发展中国家; 2—发达国家

图 1 世界钾肥消费量变化^[9]

2.2 中国钾肥产能增长有限

我国钾肥工业进入快速发展期。中国钾肥工业的发展从时间上大致划分为三大阶段: 1949—1977 年为第 1 阶段, 这一阶段主要是摸索我国卤水钾资源的开发工艺, 钾肥产量非常低, 到 1978 年氯化钾产量才达到 2.3 万 t。1978—1999 年为第 2 阶段, 这一时期我国钾肥生产逐步解决了技术难题, 钾肥可以规模化生产, 到 1999 年产量已突破 30 万 t。2000 年后为第 3 阶段, 这一阶段是我国钾肥生产快速发展的时期^[10]。2007 年底我国钾肥产量达到 250 万 t (K_2O), 8 年平均增长速度达到 20%。国产钾肥满足

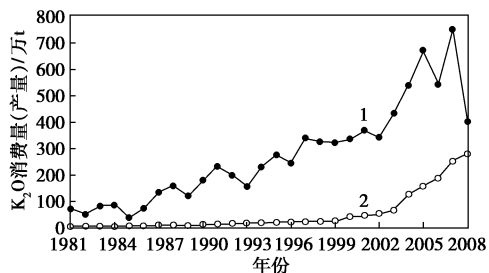
率从 1990 年的 2% 增加到了 2007 年的 30%。从产品品种上看, 氯化钾高速发展的同时, 硫酸钾、硝酸钾的生产能力从 1990—2006 年的 16 年间也分别以 30% 和 20% 的速度递增, 2006 年生产能力也分别达到 170 万 t/a 和 60 万 t/a。

预计未来几年, 青海盐湖集团氯化钾年产能将扩大到 250 万~300 万 t/a, 中信国安 100 万 t 硫酸钾镁肥和罗布泊钾盐公司 120 万 t 硫酸钾等项目投产, 到 2010 年我国钾肥产量可达到 300 万 t, 2015 年以后产量将达到 380 万 t^[6]。快速增长的钾肥产量能否满足需求成为当前关注的问题。如果按照 2007 年的钾肥需求以及增长趋势, 未来几年的钾肥工业发展和资源态势无法保障供应, 只能依靠从国际市场进口, 如此则难免承受国际价格剧烈增长的影响。

3 我国农田钾肥需求现状

3.1 农田钾肥消费

我国钾肥施用历史已经接近 30 年, 近些年用量持续增长。我国钾肥大面积施用是从 20 世纪 80 年代开始的, 当时主要在南方水稻区域施用钾肥, 钾肥总用量仅几十万 t。90 年代以后随着我国“菜篮子”工程等项目的实施, 钾肥用量开始进入快速增长期。如图 2 所示 (农田消费数据根据表观消费量扣除工业用量估算), 2003—2007 年是我国钾肥用量增长最快的 5 年, 年均增长率达到 17%。2007 年农田钾肥表观消费量达到 750 万 t (K_2O)。



1—消费量; 2—生产量

图 2 我国钾肥消费量和生产量变化趋势^[1]

我国钾肥消费集中度较高。根据 2008 年对 15 000 个农户施肥情况调查结果统计, 钾肥消费以水稻、蔬菜和果树为主, 占全国钾肥消费总量的 68%, 年均消费量分别为 129 万、163 万、209 万 t。烟草用钾量相对稳定, 年均消费量在 20 万 t 左右。长期稳定用钾肥的作物还包括胡椒、百合以及一些中草药, 钾肥消费量约 32 万 t。糖料作物中甘蔗长期施用钾肥, 总用量约 12 万 t。其他北方典型作物也开始使用钾肥, 钾肥施用有一定发展势头, 例如薯

类作物用钾量约 33 万 t, 小麦年用钾肥约 64 万 t, 玉米年用钾肥约 72 万 t。苗木和经济林这些年发展较快, 钾肥用量较大, 耗钾量约 38 万 t。油料作物钾肥用量约 13 万 t, 棉花用钾量约 33 万 t, 茶叶约 1 万 t。

我国钾肥大多是通过复合肥施用带入农田, 直接施用单质钾肥较少。2007 年, 我国复合肥的消费量在 6 300 万 t 左右, 其中约有 1 000 万 t 的复合肥养分比例以 15:15:15 为主^[11]。农户化肥投肥行为正在向简单省工的方向发展, 低浓度复合肥价格相对要低于单质钾肥, 两方面因素共同促进了复合肥消费的增长。全国农户调查数据表明, 钾肥投入 70% 来源于复合肥, 且投入比例正在扩大, 这更加说明复合肥的消费将从整体上影响钾肥的消费。

3.2 农田钾肥需求趋势

钾肥需求可以划分 3 个层次, 其根本是作物需求量, 这一需求是通过作物钾素吸收量的测试结果来确定, 其影响因素是土壤肥力和肥料效率、作物品种和栽培管理技术。第 2 层次是农户需求, 由于农户难以确切掌握作物钾肥需求, 因此其行为往往受到经济和知识水平限制, 有时农户的需求会超过作物需求, 但有时会低于作物需求。第 3 层次是市场需求, 为了满足农户需求, 经销商、生产商和进口商会根据市场价格和预期收益进行调整, 这些调整会扭曲或者影响正常的农户需求, 例如促销、囤货等等行为, 市场需求的预测是最难的。以往的需求预测往往不区分这 3 个层次, 所有预测结果与实际消费情况存在偏离, 大部分预测偏高。例如, 20 世纪末国家提出了我国钾肥发展“十一五”规划, 指出 2010 年我国农用钾肥需求量将达到 751 万 t, 到 2015 年农用钾肥需求将达到 950 万 t。而我国农业领域众多研究也预计中国钾肥需求将达到 860 万 ~ 880 万 t^[12], 或 1 500 万 t^[13] 甚至 1 800 万 t^[14]。这些规划和预测做出了很好的尝试, 但预测方法不够完善, 提高了人们对钾肥需求的期望, 带动了钾肥产业和进口量的增长。以往研究中预测钾肥需求大多从土壤钾平衡、氮钾比例、作物最高产量施钾量出发, 这些方法存在的问题已经逐渐明确。

例如根据土壤钾平衡预测钾肥需求存在如下问题, 我国每年作物吸收钾约 2 000 万 t (秸秆中 1 350 万 t 左右, 籽粒中 650 万 t), 而钾肥投入量最大时才达到 750 万 t, 因此我国土壤钾素长期处于投入小于产出的匮乏状态。但是土壤中钾含量丰富, 因此有一定的匮乏并非不正常。况且 2007 年 750 万 t K_2O 的投入已经超过了籽粒带走量, 如果考虑秸秆全部还田, 2007 年土壤钾已经出现盈余, 由于已经接近

盈余, 所以 2008 年钾肥用量大幅下降并没有影响作物产量。因此, 随着钾肥用量的变化, 土壤钾素平衡也在变化, 需要跟踪监测, 而且追求绝对的土壤钾素平衡甚至盈余是不切合实际的, 要考虑土壤本身钾素的供应, 有时需要保持一定的负平衡以充分利用土壤钾素。

用氮钾比例预测钾肥需求往往由于氮肥用量不合理导致钾肥需求偏高, 我国氮肥用量较大, 相对而言钾肥用量过少。我国氮钾消费比例从 1980 年的 1:0.06 增长到现在的 1:0.22, 但适宜的氮钾比例却是个未知数, 例如西欧氮钾比例并不稳定, 而且呈现持续下降的趋势, 从 1980 年的 1:0.55 降低到现在的 1:0.37, 这些并不能作为我国氮钾比例调整的依据。而作物最高产量施钾量是一个理论值, 一方面我国对钾肥推荐用量研究并不多, 可用于参考的资料非常有限, 另一方面农户是否按照这个推荐值去用钾肥却受价格等多种因素的影响, 因此用现在掌握的推荐施钾量预测需求可靠性不强。

当前影响钾肥需求的重要因素包括以下几方面, 例如农户行为、土壤钾素水平、钾肥增产效应、钾肥价格及经济效益, 这些因素的变化在预测中均应该重点考虑。2008 年全国 15 000 个农户调研数据表明, 果树是目前我国钾肥消费第一大户, 全国 62% 的果树种植户施用钾肥, 平均用量超过 323 kg/hm, 我国大部分果树习惯施用有机肥, 如考虑有机钾的投入, 钾肥总投入量可达 400 ~ 2 000 kg/hm, 化肥钾超量施用明显。蔬菜是我国钾肥需求的第二大作物, 全国 66% 的蔬菜地施用钾肥, 平均用钾量 142 kg/hm, 而蔬菜大棚中平均用钾量均超过 500 kg/hm, 如果考虑有机肥用量, 大棚蔬菜钾的投入超过 1 000 kg/hm。水稻是我国第三大钾肥用户, 68% 的水稻种植面积用钾肥, 平均用量为 656 kg/hm。我们对全国测土配方施肥 488 个 3 414 试验分析证明, 水稻施钾增产效益已经较低, 其中华南地区增加钾肥用量增产效果明显下降, 部分地区减少钾肥投入反而有助于增产, 而东北及西南部分地区增加投入能够增产。其他经济作物如烟草、茶叶、棉花、糖料等钾肥投入水平已经较高。其他粮食作物中仅玉米施用钾肥增产效果明显, 但是投入量过大也会导致经济效益下降。而油料作物钾肥投入略有不足, 油料价格增长会带动钾肥投入增加, 但需求空间较小。总体看来, 目前我国钾肥已经存在过量施用的问题, 未来的需求是部分过量施用的地区和作物减少用量, 也会有部分用量不足的地区和作物增加用量, 钾肥总需求在未来一段时期内会在一定水平波动。

4 我国钾肥发展战略及调控措施

4.1 调控化肥钾需求,增加有机资源中钾的农田施用

根据上述主要作物体系当前钾肥用量以及钾肥效果,我们推测全国部分作物和地区钾肥实际用量超过农田需求,部分作物和区域实际用量低于农田需求。其中水稻、蔬菜、果树体系通过合理施用,钾肥用量有下调空间,而其他经济作物用量基本稳定。有增长空间的作物重点是玉米和油料作物,但增长空间较小。经过核算,蔬菜、果树和水稻不合理施用的钾肥达 200 万 t,考虑技术发展速度,2015 年以前降低 150 万 t 钾肥有可能。另一方面应该挖掘我国有机钾资源,我国粮食作物秸秆中有机钾资源总量达到 750 万左右,大于化肥钾投入量。但由于循环利用率仅 50%,因此每年实际能够还田的有机钾低于 600 万 t,至少有 150 万 t 的资源由于焚烧、秸秆废弃等途径而损失,2015 年以前增加 100 万 t 有机钾资源的还田是可能的。如果结合上述两方面的调控,那么在 2010 年至 2015 年间中国农田钾肥需求总量控制在 400 万 ~ 550 万 t K_2O 是可以的。当然这是中国钾肥需求的底线,满足农田钾肥需求的基础上需要考虑到我国农户意识以及钾肥市场的库存和周转能力,市场供应量可以适当上调,但能上调多少主要靠价格调控。

调控钾肥需求需要依靠科学的钾肥施用技术,当前我国钾肥施用技术研究不受重视,大多依赖外资公司支持,国家应该以测土配方施肥等项目为契机,加强相应的研究和技术推广工作。农田增施有机肥及秸秆还田是提高有机资源中钾还田的重要措施,需要依赖政策、机械、技术领域的大力支持,建议国家建立秸秆还田、有机肥施用的国家级补贴,加强秸秆还田和有机肥施用机械的研发和推广支持。

4.2 提高国产钾肥市场控制力

2010—2015 年间,如果我国农田钾肥需求总量控制到 400 万 ~ 550 万 t K_2O ,国内钾肥工业顺利实现规划产量,2010 年产量达到 300 万 t K_2O ,则进口依赖度可以降低到 100 万 ~ 250 万 t K_2O ,国产钾肥市场占有率可达 55%,开始占主导地位;2015 年如果国产钾肥达到 380 万 t 以上,则进口依赖度会降低到 20 万 ~ 170 万 t K_2O ,国产钾肥市场占有率可达 70%,占据绝对主导地位。如果泰国和老挝等周边国家钾肥项目顺利实施,则我国钾肥供应格局可能进一步发生较大变化。因此,加强民族钾肥产业发展应作为重要战略,但要实现这一战略目标需要降低生产成本、提高产品质量、提高品牌知名度。

我国应进一步加大投资,加强新资源勘探的同

时,充分利用我国现有盐湖钾资源。加强盐湖资源的综合利用、开展多元化开发。国家应出台相应的政策,鼓励和引导企业走规模化发展的道路,采用先进的开采技术和生产工艺,提高青海和新疆等钾肥集中区域钾资源的采收率和生产能力。

4.3 进一步完善多元化资源战略

考虑到我国资源状况,从更长远时期来看,我国资源仍然紧缺,如果钾肥产量达到 350 万 t,则我国钾资源开发利用年度会缩短到 47 年左右,产量进一步提高,可利用年度进一步缩小。因此要从需求入手,调控土壤钾库、有机钾资源和化肥钾三者之间的关系。加强土壤钾资源的挖掘,进一步加强有机资源循环利用,调控化肥需求。对于矿产资源,调整国产钾肥、周边国家钾肥以及传统进口钾肥三者之间的关系尤为重要,国产钾肥产量应该根据我国资源情况,以及其他 2 个替代资源的供应量进行调整,不易盲目扩张。要加强新资源勘探,提高现有资源开发利用效率,加强周边国家新增资源的开发。

为长期满足农业生产对钾肥的需求,一方面加强国内卤水钾资源的勘探和技术创新工作,另一方面,我国不溶性钾矿物如钾长石的含量超过 100 万 t^[6],可以开发出含 K_2O 4% ~ 7%,同时含有硅、钙、镁、铁、锰等中微量元素的肥料,应该对其加强研究,合理加以利用。另外我国海水钾资源的开发也可以作为一个重要补充,应加强引导。

总之,中国钾资源的状况和钾肥产业的发展说明,中国钾肥的供应问题仍需要从合理利用及循环利用方面去解决,长久发展必须走多种资源的道路。这些都需要国家合理的引导。

参考文献

- [1] 中国化肥信息中心. 中国化肥信息数据库 [EB/OL]. [2009-06-08] <http://www.china-fertinfo.com.cn/>.
- [2] 张卫峰,汤云川,张四代,等. 全球粮食危机中化肥产业面临的问题与对策 [J]. 现代化工, 2008, 28(7): 1-7.
- [3] 张福锁,等. 我国化肥产业及科学施肥战略研究报告 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
- [4] 美国地质调查局 (VSGS). Mineral commodity summarizes 2007 [EB/OL]. [2009-06-10] <http://www.usgs.org>.
- [5] Michel Prud'homme (IFA). Global fertilizers and raw materials supply and supply/demand balances 2008—2012 [J] // 76th IFA Annual Conference. Vienna, Austria, 2008.
- [6] 王静康. 中国钾肥产业的过去、现在和未来 [C] // 国际钾肥博览会论文集. 北京: 中国无机盐工业协会钾盐分会, 2008.
- [7] 袁俊生. 海水提钾技术进展 [C] // 国际钾肥博览会论文集. 北京: 中国无机盐工业协会钾盐分会, 2008.
- [8] 世界肥料工业协会 (IFA). Statistics [EB/OL]. [2009-06-10] [Http://www.fertilizer.org/ifa/Homme-Page](http://www.fertilizer.org/ifa/Homme-Page).

问题的依据,对不同的分离次序和分离条件的精馏塔设备参数、加热蒸汽、冷凝水的消耗等进行模拟计算,确定出经济、合理的方案。

(2)工艺特点。该工艺的最大特点是工艺流程简单,常压操作,无腐蚀性流体,温度也不高(一般低于 200℃),并且精馏法分离正己烷对原料油没有特殊要求,只要它含有足够量的正己烷(一般质量分数 > 2%)即可。缺点是由于油田轻烃中不但存在与正己烷沸点相近的甲基环戊烷和其他的 C₆ 异构烷烃,而且还存在与正己烷构成二元或三元共沸物的组分(如水、苯等)。因此,单纯采用精馏方法不能从油田轻烃中生产出纯度较高的正己烷产品。

1.1.3 技术发展概况

当前,从直馏或抽余油中用精馏方法或者铂重整抽余油加氢浓缩的双塔分离获得粗正己烷的方法已经相当成熟^[4-5],其纯度都在 60%~90%。然而国内当前正己烷的生产工艺和产量都无法满足工业市场的需求,高纯度正己烷基本依靠进口。因此改进正己烷生产工艺,生产高纯度的正己烷意义重大。

1.2 萃取精馏法

1.2.1 基本原理及工艺

对油田轻烃(直馏石脑油)采用萃取精馏法分离回收正己烷,一般都包含原料的制备、萃取精馏和溶剂回收 3 部分。

(1)原料制备。对原料的要求主要有 2 点:一是要有足够高的正己烷含量(一般质量分数在 70%以上);二是苯的含量(或其他芳烃含量)应低。如果原料中正己烷含量高,就可以相对减少溶剂的循环量,减小萃取精馏塔的尺寸,提高过程的经济效益。要求原料苯含量低是由于过程的分离对象和使用的溶剂性质决定的,对环己烷有良好选择性的溶剂对苯也有较高的选择性。通常采用传统的精馏方法将油田轻烃(天然汽油)切割出富含正己烷的馏分,然后送入下一步的萃取精馏塔。

(2)萃取精馏。萃取精馏塔可以是填料塔或板式塔,前者一般用于处理量较小的场合,后者用于处理量较大的场合。正己烷的纯度在优化的萃取精馏

条件下都可达到 99%。

(3)溶剂回收。正己烷产品是在溶剂回收时得到的。溶剂回收一般采用氮气汽提塔,因为溶剂与正己烷沸点差都较大。

1.2.2 技术关键及工艺特点

(1)技术关键。该过程的技术关键在于高选择性的萃取溶剂的选择和复配,以及与之配套的最佳萃取精馏操作条件的确定。

(2)工艺特点。该工艺的最大特点是流程简单,采用的都是石油化工中常用设备,工艺过程常压操作,无腐蚀性流体,温度也不高(一般低于 200℃),对设备材质无特殊要求。但该工艺的剂油比一般都比比较大。因此,溶剂循环能耗大,这是它的主要不足之处。

1.2.3 技术发展概况

采用精馏方法切取一定沸点范围馏分,然后脱硫脱芳烃等精制而得到正己烷。由于正己烷沸点(68.7℃)和甲基环戊烷沸点(71.8℃)接近,采用萃取精馏方法获得高纯度正己烷的关键是寻找针对正己烷和甲基环戊烷合适的萃取剂^[6]。国内尤以南京师范大学化学与工程学院顾正桂教授课题组的研究成果显著^[7-13],他们首先利用色谱仪(G102 色谱仪)分析测定了正己烷和甲基环戊烷在邻苯二甲酸二丁酯等 7 种溶剂中的无限稀释活度系数 γ^∞ ,并且依据常用公式(1):

$$\alpha = \gamma^\infty \cdot P_1^0 / (\gamma_2^\infty \cdot P_2^0) = t_2 / t_1 \quad (1)$$

其中, α 为相对挥发度, P_1^0 、 P_2^0 分别为正己烷和甲基环戊烷在该温度下的饱和蒸汽压, t_1 、 t_2 分别为正己烷和甲基环戊烷在以上测定条件下的保留时间。

$$K = 1 / \gamma^\infty \quad (2)$$

$$S = \gamma_1^\infty / \gamma_2^\infty \quad (3)$$

其中, K 为溶解能力, S 为选择性。依据上述公式,计算出了正己烷和甲基环戊烷在各种溶剂中的相对挥发度、溶解能力及选择性,其结果如表 1^[7]。

相对挥发度 α 的大小是衡量溶质分离难易的标志, α 越偏离 1,分离能力越强。依据表 1,7 种溶剂中以环丁酮各性能指标最好,邻苯二甲酸二丁酯

(上接第 14 页)

- [9] Patrick Heffer (IFA). Medium-term Outlook for World Agriculture and Fertilizer Demand 2007/08—2012/13 [C]//76th IFA Annual Conference. Vienna, Austria, 2008.
- [10] 张福锁,张卫峰,马文奇,等. 中国化肥产业技术与发展[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [11] 张卫峰,李亮科,陈新平,等. 我国复合肥发展现状及存在问题

[J]. 磷肥与复肥,2009,24(2):14-16.

- [12] 谢建昌,周建民. 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J]. 土壤,1995(5):244-254.
- [13] 程琳琳. 中国农田生态系统钾素平衡与钾肥需求[D]. 北京:中国农业大学,2007.
- [14] 许秀成. 应谨慎预测未来化肥需求量[J]. 磷肥与复肥,2004,19(2):7-10. ■