

综合评述

世界钾资源研究系列之二—国外典型钾盐公司概况^{*}

杨卉芃^{1,2}, 曹飞^{1,2}

(1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 郑州 450006; 2. 国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心, 郑州 450006)

摘要:世界钾盐资源分布的严重不均形成了世界钾盐市场的高度垄断局面, 简述了全球九大钾盐生产企业情况, 主要介绍了世界第一、二、八大钾盐公司—加拿大 Potashcorp 公司、俄罗斯乌拉尔钾肥公司 (Uralkali)、约旦阿拉伯钾盐公司 (APC) 三家公司的资源概况、采矿、选矿工艺、生产运营等情况, 为我国企业更好的了解国外市场, 并积极走出去提供信息支持。

关键词:钾盐; 溶解采矿法; 盐田太阳能蒸发系统; Potashcorp 公司; Uralkali 公司; APC; 加拿大; 俄罗斯; 约旦
中图分类号:TD871⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0076(2015)02-0067-06

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2015.02.016

Series Study on Potassium Resources in World – the Resources and Production of Global Typical Companies

YANG Huipeng^{1,2}, CAO Fei^{1,2}

(1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China; 2. China National Engineering Research Center for Utilization of Industrial Minerals, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: Potassium resources are unevenly distributed in the world, which made high monopolization in potassium resource market. The nine largest potassium companies were introduced. Potashcorp (Canada), Uralkali (Russia), Arab Potash Company (Jordan) were respectively the 1st, 2nd and 8th potassium resources company in the world. The resources, mining technology, mineral processing and production of these three companies were introduced in this paper, which provided information support for companies in China.

Key words: potassium resource; solution mining; salt field solar evaporation system; Potashcorp company; Uralkali Company; Arab Potash Company; Canada; Russia; Jordan

世界钾盐资源主要分布加拿大、俄罗斯、白俄罗斯, 以上三国占世界钾盐总储量的 88.56%^[1], 资源分布的高度集中形成了世界钾盐市场的高度垄断局面, 加拿大 Potashcorp 公司和俄罗斯乌拉尔钾肥公司 (Uralkali) 分别为世界第一、二大钾肥生产企业,

拥有丰富的钾盐矿藏, 在钾盐领域有着较大的影响力; 约旦阿拉伯钾盐公司 (APC) 为全球第八大钾肥生产企业, 其资源主要蕴藏于死海之中, 回收工艺主要为盐田太阳能蒸发系统, 主要介绍了这三大国外典型钾盐矿业公司的资源概况、采矿、选矿工艺、生

* 收稿日期: 2015-03-06

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价项目 (1212011220930)

作者简介: 杨卉芃 (1962-), 男, 新疆疏附人, 研究员, 长期从事矿产资源利用研究工作。

产运营等情况。

1 全球主要钾盐生产商

2011 年全球钾盐产量为 3 770 万 t(以 K_2O 计)^[1],而全球九大主要钾盐生产商产量 3 492 万 t,占比高达 92.63%,其基本情况见表 1。

表 1 全球主要钾盐生产商基本情况

公司名称	国别	2011 产量/万 t(K_2O 计)	矿山数	矿石类型	主要产品
Potash Corporation of Saskatchewan	加拿大	588	7	钾石盐	KCl、NaCl
Mosaic Company	美国	450	5	钾石盐	KCl、NaCl
Uralkali	俄罗斯	680	5	钾石盐光卤石	KCl、NaCl
Belaruskali	白俄罗斯	555		钾石盐	KCl、NaCl
K + S KALI GmbH	德国	434	4	钾石盐	KCl、NaCl
ICL	以色列	271		氯化物型盐湖卤水	KCl、NaCl、Br、MgO
Arab Potash Company	约旦	142	1	氯化物型盐湖卤水	KCl、NaCl
罗布泊钾盐科技开发有限责任公司	中国	130	1	硫酸盐型盐湖卤水	KCl、 K_2SO_4
青海盐湖钾肥股份有限公司	中国	242	1	氯化物型盐湖卤水	KCl、NaCl

2 加拿大 Potashcorp 公司

加拿大 Potashcorp 公司是一家注册在加拿大萨斯喀切温省(Saskatchewan)的“资源型”化肥公司,主要生产高品质农用和工业用钾盐、镁盐产品,公司工程总部设在加拿大萨省萨斯喀通市(Saskatoon),并在温哥华建有营运总部,在中国北京、上海及香港设立了代表处。Potashcorp 是世界第一大的钾肥生产商,2011 年产量达到 588 万 t(K_2O 计),公司产能为 715 万 t(K_2O 计),接近全球钾肥产能的 20%,公司计划到 2015 年把公司产能增加到占全球产能的 23%。该公司采取多元化战略,投资多个相关公司,如投资以色列化工集团 ICL 占 14% 股份,投资阿拉伯钾肥公司 APC 占 28% 的股份,投资中化化肥 Sinofert 占 22% 的股份,投资智利化学矿业公司 SQM 占 33% 的股份,这些投资分散了风险,通过公司对钾肥价格的掌控保障公司的利润。

2.1 资源概况

公司在加拿大萨省境内的、世界最大的“钾碱商品化开采带”上,拥有 34 个地下矿物勘探许可区,面积近 7000 km²,拥有的钾矿资源量超过 300 亿 t,品位高达 20% ~ 35% (K_2O)^[2]。2011 年公司共有 7 个矿山生产钾盐。矿区主要由石盐(NaCl,约 55%)、钾石盐(KCl,约 40%)、粘土类矿物和其他不溶性矿物(约 5%)构成,因含少量铁氧化物而呈现红色。

“钾碱商品化开采带”是世界上最大的可采钾矿资源,占世界已知钾矿储量的 50% 以上。含钾肥的北美大草原蒸发岩地层具有良好的连续性,通常钾矿床深度不低于 1 100 m,矿床呈水平产状,且未发生变形,因此不受外界各种复杂因素的影响,这使得其生产成本低于较复杂的矿藏。此外,矿区气候温和、地势平坦、交通及能源基础设施完善,并且区内人力资源丰富、政治经济环境稳定。

2.2 采矿工艺

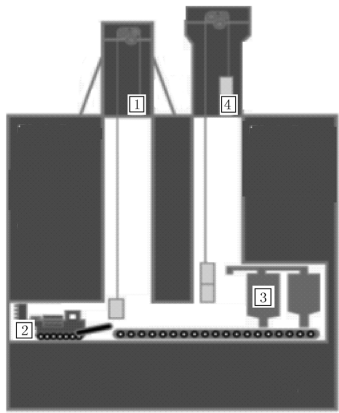
2.2.1 传统竖井固体采矿工艺

传统竖井固体采矿工艺是该公司主要采用的钾矿采矿工艺,全球约 80% 的钾产品也是通过这种采矿方法生产的,目前公司在加拿大的 7 个矿山中有 6 个采用这种采矿方法,如图 1 所示,每个矿至少有两个竖井,一个为服务井运送人员和材料,另一个提升钾矿石,钾肥是开采使用重量达 200 t 重型采掘机,采出矿石通过运输带和竖井提升到地面加工厂加工提纯。

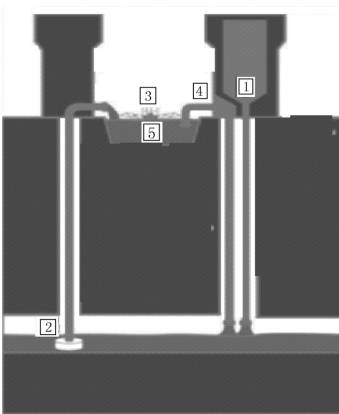
2.2.2 溶解采矿工艺

公司也有少量矿山采用溶解采矿工艺(见图 2),当钾矿资源埋藏很深或矿体不规则或发生过水灾时使用溶解采矿工艺,通过注入加热的盐水到地下钾矿体中溶解钾矿,得到富钾的卤水,用泵输送到地面结晶池或蒸发结晶器中提取钾。该公司的 Patience Lake 矿就是由最初的竖井固体采矿工艺转变

成了溶解采矿工艺。



1. 辅助竖井;2. 生产竖井;3. 大型采矿车;4. 矿仓
图 1 竖井采矿工艺示意图



1. 注水井;2. 潜水泵;3. 蒸发池;4. 抽取;5. 浮动式挖泥船
图 2 溶解采矿工艺示意图

2.3 选矿工艺

加拿大钾矿山所采用的选矿工艺基本相同,原则流程见图 3。将钾矿石粗碎后用反击破破碎到 2 mm 以下,通过摩擦擦洗槽脱泥,钾盐采用正浮选进行选别,一般用胺类浮选药剂,精矿离心脱水后在 200 ℃ 下干燥,筛分分级,部分细粒产品通过辊压机压制板状,并破碎成所需的颗粒制备钾肥^[3]。

2.4 竞争优势及发展规划

加拿大 Potashcorp 公司在钾盐领域拥有强大的竞争优势:(1)可在短时间低成本大幅度提高产能;(2)生产和销售成本低;(3)有可观的储量并位于一个地缘政治上稳定的地区;(4)海外投资增加了全球影响力和盈利能力;(5)行业准入门槛:经济上可开采资源稀缺;新开项目资金成本高和建设周期长;(6)钾肥没有替代品。这些优势保证了该公司长期

稳定的发展和丰厚的利润。

预计未来 5 年,公司将投入约合 100 亿人民币,增加钾肥产量 200 万 t,年销售额将超 10 亿美元,到了 2020 年,钾肥年产量将提升到 600 万 t,复合肥超过 450 万 t,并继续滚动投资,使得钾肥年产能到 2025 年超过 1 000 万 t。

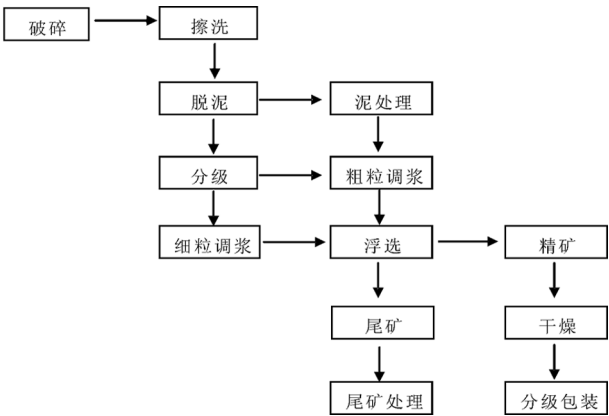


图 3 加拿大钾盐选矿工艺原则流程

3 俄罗斯乌拉尔钾肥公司(Uralkali)

2010 年 12 月,乌拉尔钾肥公司(简称乌钾)宣布收购俄罗斯西利维尼特钾肥公司。同年,乌拉尔董事会和西利维尼特特别股东大会均同意两钾合并的方案。这两公司合并后,成为了全球第二大钾肥生产企业,总产能将超过 1 100 万 t,略低于加拿大钾肥产量(两家公司于 2013 年宣布各自独立)。

俄罗斯钾盐的开采完全集中在别尔姆边斯克区维尔赫涅卡姆斯克矿床,进行开采的是俄罗斯的两大公司^[4]:乌拉尔钾盐公司和西尔维尼特公司,这两个公司占有俄罗斯钾盐探明储量的 44%,两大钾肥公司(乌拉尔钾肥公司和西利维尼特公司)独占俄罗斯唯一的 Verkhnekamskoye 钾镁矿储量。

3.1 资源概况

两公司均在别尔姆边斯克区维尔赫涅卡姆斯克钾镁矿床开采钾盐,以 2011 年使用澳大利亚 JORC 标准核定的储量结果计算,乌拉尔钾肥目前开采两个矿山拥有 9 500 万 t K₂O 的可采矿石储量,平均品位 K₂O 18.8%,拥有资源储量达到 7.23 亿 t,平均品位 K₂O 21%;西利维尼特钾肥公司目前开采的三个矿山拥有 7 820 万 t 的可采矿石储量,平均品位 K₂O 15.7%,拥有钾资源量达到 9.21 亿 t, K₂O 平均品位达 15.4%,该矿床钾盐层的埋藏较浅,约在地表

以下 350 ~ 450 m, 开采容易。

维尔赫涅卡姆斯克矿床由近 400 m 厚的岩盐构成, 可采矿段厚约 100 m 的, 上部由 65 ~ 85 m 厚的钾石盐和光卤石构成, 下部由 15 ~ 35 m 的钾石盐构成。矿体顶部过渡区由 25 m 厚的岩盐、石膏和泥灰岩交替混合层构成, 更上层是以盐、粘土、泥灰岩构成 50 m 厚的混合层, 这两部分构成了对矿床至关重要的隔水层, 隔水层上方 100 m 是由石灰岩、泥灰岩和石灰岩砂岩构成的岩层, 这部分渗透性好并可能是含水层, 再向上 100 m 由冰河期以来按时间顺序的各种松散沉积物构成。该矿床目标矿物以钾石盐和光卤石为主, 伴生矿物主要为石盐和氯化镁, 杂质矿物主要为粘土、石膏等。

3.2 采矿工艺

乌拉尔公司矿山采矿方式为地下采矿, 采矿方法为房柱法采矿。在开拓水平之上的盐层中布置三条盘区回采巷道, 皮带运输机布置在回采巷道, 并由直径 0.4 m 的溜井与下层开拓水平相连。矿房与回采巷道成直角布置, 且采用后退方式进行采矿。每个采区典型的采矿设备均由三部分组成: 连续采矿机、装运机和电机车。连续采矿机所采矿石通过皮带运送至溜井, 溜下的矿石由装运机装车最后经电机车运出采区。即使电机车不在运矿点位置, 连续采矿机也可以继续采矿而不受影响。乌拉尔矿主要有新、老两种型号 of 连续采矿设备, 分别是 15 t 和 25 t, 15 t 的采矿设备正在逐渐淘汰, 并将被 25 t 的所代替。

3.3 选矿工艺

钾盐矿的富集过程采用两种不同的工艺路线: 一种是采用化工热浸再结晶工艺, 生产含量为 97% 的白色氯化钾产品, 工艺流程见图 4; 另一种是采用浮选的工艺路线, 生产含量为 95.6% 粉红色氯化钾产品, 工艺流程见图 5。化工流程的回收率一般大于 90%, 而浮选流程的回收率只有 85% ~ 88%。

4 约旦阿拉伯钾盐公司(APC)

4.1 资源概况

约旦钾盐资源丰富, 主要蕴藏于死海之中。约旦阿拉伯钾盐公司(Arab Potash Company, APC)成立于 1956 年, 获约旦政府授予的死海矿产独家经营权, 为期 100 年。该企业是目前约旦从事钾盐开发、

生产和销售的唯一企业, 也是世界第 8 大钾盐生产商。美国地调局把死海中的钾盐资源的一半归约旦所有, 一半归以色列所有, 故该公司的钾资源有 4 000 万 t(K_2O)。约旦阿拉伯钾盐公司 2011 年生产 226 万 t 钾盐(KCl 计), 公司销售额达 9.3 亿美元, 2011 年利润达 3.7 亿美元, 较 2010 年增长 60%。截至目前, 该公司直接创造了 2 360 个就业岗位以及超过 600 个间接工作岗位。

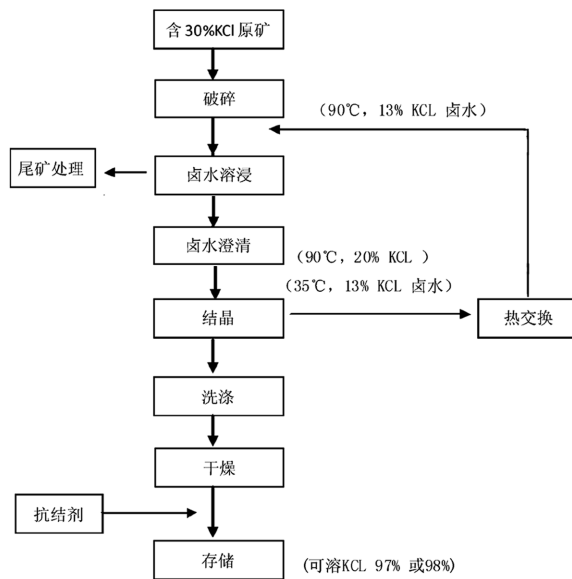


图4 乌钾化工热浸再结晶工艺流程

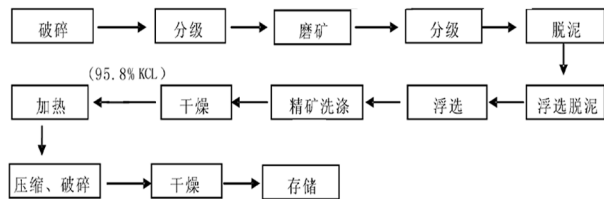


图5 乌钾浮选工艺流程

公司工厂位于安曼以南 110 km, 亚喀巴以北 200 km, 工厂由面积 150 km² 的盐田和盐矿石加工厂构成。公司死海钾盐开发项目于 1976 年开始, 通过不断工艺优化和改进, 尤其是盐田太阳能蒸发关键工艺的改进, 在 80 年代末, 产能达到 140 万 t, 1994 年建立了第二个不同工艺产能为 40 万 t 的工厂, 使总产能力达 180 万 t。在 2008 年通过进一步优化现有的工厂, 并扩大太阳能蒸发系统和新建第三个工厂, 产能扩大到 240 万 t(KCl 计)。

目前公司有 4 个工厂: 热浸出工厂(HLP), 冷结晶工厂(CCP), 工业钾盐厂(IPP) 和新的冷结晶工厂

(CCP I I)。阿拉伯钾盐公司2011年生产了226万t(KCl计)四种规格的钾产品,分别为标准钾肥,HLP生产;细粒钾肥,HLP、CCP、CCP II生产;工业钾产品,IPP生产;粒状钾肥,HL、PCCP II生产。

4.2 生产工艺

卤水从死海抽出后通过APC的盐田太阳能蒸发系统,浓缩后的卤水进入光卤石调整池后进行析出,光卤石采收后进入不同的工厂加工成不同产品。

4.2.1 盐田太阳能蒸发系统

卤水从死海抽出后进入到APC的盐田太阳能蒸发系统,盐田留下沉积出来的盐类矿物,母卤返回到死海。盐田太阳能蒸发系统始于位于Lisan半岛的泵站,四台大约 $18\text{ m}^3/\text{s}$ 流量的水泵每年输送2.5~3亿t的死海卤水,进入盐田太阳能蒸发系统系列盐池中的第一个氯化钠盐池,系统的设计保证最高的太阳能蒸发效率,盐田是钾盐回收的关键因素。死海卤水的密度约 1.235 g/cm^3 ,盐度是海水的十倍,通过盐田蒸发系统将卤水的密度蒸发到 1.300 g/cm^3 ,同时大部分氯化钠沉淀到池底,每年1600~1800万t氯化钠盐沉积到盐池中,部分积盐在盐池中出现盐蘑菇和盐礁,导致减少了蒸发面积,需要机械疏浚处理。APC有5条采盐船组成的采盐船队,公司雇佣一个国际承包商来采盐,并管理和优化盐田系统的正常运作。

卤水通过氯化钠盐池后,自流转移到光卤石调整池,这个池塘充当一个控制器,卤水成分在这里开始达到光卤石形成点,卤水的密度在这一阶段达到 1.303 g/cm^3 ,氯化钾浓度达到大约2%。从氯化钠盐池开始到光卤石调整池的卤水成分和浓度必须连续监控,以达到生产光卤石的要求。经过光卤石调整池后,通过卤水泵进入到两个系列光卤石池,都是采用自流方式经过五个光卤石池,析钾后的卤水(约含0.3%氯化钾,平均密度 1.345 g/cm^3)被排到洪水通道流回到死海。池中沉淀的盐平均含有84%的光卤石和16%的氯化钠,沉淀厚度为30~60cm,整个盐田系统年产光卤石约为1200万t。

4.2.2 光卤石采收

光卤石以矿浆的形式由采矿机于卤水下采收后,通过浮管送到在堤坝上,用泵加压再送到精炼厂。光卤石由八个浮动履带采矿机收集光卤石。这些采矿机能够浮在1m深的卤水中通过四履带系统

推动。采矿机采用载波相位实时动态差分技术进行相对定位的GPSRTK高技术装备进行控制,进行精确的运转,确保了最佳的光卤石采收率。

4.2.3 热浸出工厂

(1) 光卤石加工

由盐田输送到厂光卤石浆,脱卤水后用水分解,分解过程通过两级搅拌罐完成,分解产生的固体是氯化钾和氯化钠的混合盐钾石盐;钾石盐脱水 and 洗涤后,滤饼进入钾石盐加工工序。

(2) 钾石盐加工

钾石盐滤饼浸出使用六个搅拌罐,两级浸出。浸出液是结晶工序返回的热贫卤水,浸出得到的饱和氯化钾浸出液卤水在热浓密机中澄清,浓密机溢流由泵送往结晶工序,浓密机的底流浆主要含氯化钠晶体进行脱水,用废卤水制浆后泵入尾矿区。

(3) 氯化钾结晶

浓密机溢流热卤水含有饱和钠和钾的氯化物,依次通过六个阶段的冷却-真空结晶,卤水温度从 $93\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到降到 $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。通过冷却,氯化钾在控制的条件下结晶析出,溶液中氯化钾浓度下降,成为贫卤水。

(4) 产品脱水、干燥、筛分

结晶得到的氯化钾料浆先通过旋流器脱水,然后通过离心机进一步脱水,得到滤饼,滤饼通过一个燃油的旋转干燥机脱除最后的水分,随后通过流化床冷却并进入筛分工序,筛分工序得到两种产品,标准产品和细粒产品。所有的产品都需要加入抗粘剂,控制产品的结块倾向,方便钾肥的储存和运输。

4.2.4 冷结晶厂(CCP I)

冷结晶厂不用热浸设备,在环境温度下运作,因此需要更少的能量。

(1) 光卤石预处理

送入工厂的光卤石料浆先湿筛,筛上分选出约1/4的高品位光卤石,这部分光卤石可直接进入后续的冷分解工序。筛下的料浆与冷结晶工序的溢流混合,这种溢流是接近饱和的卤水,混合在带有导流筒的反应器中进行,这两种卤水的混合由于混合卤水成分达到光卤石相产生的条件,导致了光卤石沉淀的产生,反应完全后,反应器中排出的料浆进入光卤石浓密机,浓密机溢流返回盐田蒸发池,光卤石底流进入浮选工序。

(2) 浮选

光卤石底流进入浮选槽通过反浮选分离出氯化钠,选完氯化钠的料浆进入浮选浓密机,浓密机溢流补充浮选槽用液体,多余部分进入光卤石浓密机,浮选浓密机的底流由离心机脱水,得到细粒的光卤石滤饼,送入冷结晶工序,滤液返回浮选浓密机。

(3) 结晶

筛分得到粗光卤石和浮选得到的细光卤石,结晶过程中分两步进行,在水中光卤石分解,然后在结晶器中结晶成氯化钾晶体,结晶器排出的料浆通过湿筛,筛上的大颗粒光卤石或氯化钠和浮选溢流一起被排入到尾矿池,筛下的氯化钾粗产品部分被送入浸出工序。

(4) 冷浸出

为了消除结晶工序的氯化钾粗产品中附着的高氯化镁卤水,通过两段浸出和离心脱水确保最终干燥产品中的 MgCl_2 含量小于 0.7%。

(5) 干燥筛分

冷浸出的离心机滤饼通过一个燃油的旋转干燥机脱除水分,保证水分含量小于 0.1%,随后通过逆流旋转筒冷却器冷却后并进入筛分工序,筛分工序得到两种产品,标准产品和细粒产品。

4.2.5 工业钾产品厂

工业级别氯化钾产品要求较高, KCl 含量要求大于 99.2%,产品附加值也较高,主要满足非化肥行业的需求。作为公司雄心勃勃的产品多样化计划的一部分,阿拉伯钾盐公司在 1998 年末建立了一个 14 t/h 的高品质氯化钾生产厂,工厂采取热浸出结晶工艺,实现了产品纯度和晶粒大小的精确控制。

4.2.6 压实装置

热浸出厂 HLP 包括一个可产颗粒产品 100 000 t/d 的压实分厂,包括两套压制设备和配套装置。这家分厂自 1985 年运营以来,经历了多次的升级改造,生产高质量的粒状钾肥产品,满足在欧洲和亚洲市场的需求,该分厂的原料来源于热浸出厂生产的标准氯化钾或细粒氯化钾产品,其他厂的产品粉尘也在这个厂压实。在新的冷结晶厂(CCP II)正在建设一个年产颗粒产品 250 000 t 的新的压实工厂,这使得公司颗粒产品的总产能达 350 000 t/a。

5 结语

我国是世界上钾肥需求量最大的农业大国,而钾盐资源仅占世界的 2.2%,为加强国内资源保障,我国应鼓励更多的企业到国外投资勘探、开发钾盐,以获取更多的钾盐市场份额。通过对世界三大钾盐生产公司的介绍,旨在为大家更好的了解国际钾盐矿业形势,为我国企业积极走出去提供信息支持。

参考文献:

- [1] 杨卉芄,曹飞.世界钾资源研究系列之一——资源概况及供需分析[J].矿产保护与利用,2015(1):75-78.
- [2] 白仟,袁俊宏,王章俊.国内外水溶性钾盐资源及我国钾盐产业发展现状[J].资源与产业,2014,16(2):37-39.
- [3] C·F·佩鲁萨.加拿大萨斯喀彻温钾盐选矿工艺评述[J].国外金属矿选矿,2003(10):23-26.
- [4] 崔晓寰,杨云松,李正.世界钾盐资源分布及特点[J].科技创新导报,2014(1):214.