我国钾盐“三率”实施效果评估与对策建议

孙小虹[1]，杜家海[2]，高　远[2]，李雪瑞[1]，崔博京[1]，王淑丽[1]，王　超[1]，刘万平[3]

（1. 中化地质矿山总局地质研究院，北京　100101；2. 中国化学矿业协会，北京　100101；
3. 青海盐湖工业股份有限公司，青海 格尔木　816000）

［摘　要］基于全国钾盐矿山企业的“三率”（盐田采收率、选矿回收率、综合利用率）数据，系统评估我国钾盐资源开发利用现状和“三率”实施效果。结果表明，多数企业基本符合“三率”指标要求，盐田采收率和选矿回收率有所提升，但共伴生资源综合利用率较低。针对共伴生资源利用不足的问题，提出加大卤水综合利用技术研发、构建产学研合作机制、建立动态技术标准与规范体系、强化政策扶持与监管等对策。研究结果为钾盐资源高效管理以及相关政策制定提供支撑。

［关键词］钾盐资源；“三率”指标；共伴生资源；综合利用；对策建议
［中图分类号］F124.5　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2026）05-0009-06

Evaluation of the implementation effects and suggestions for the salt field recovery rate, benefication recovery rate and comprehensive utilization rate of potash mines in China

SUN Xiaohong[1], DU Jiahai[2], GAO Yuan[2], LI Xuerui[1], CUI Bojing[1], WANG Shuli[1], WANG Chao[1], LIU Wanping[3]

(1. *Geology Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau*, *Beijing* 100101, *China*; 2. *China Chemical Mining Association*, *Beijing* 100101, *China*; 3. *Qinghai Salt Lake Industry Co., Ltd.*, *Golmud* 816000, *China*)

Abstract: Based on the “Three Rates”(salt field recovery rate, beneficiation recovery rate, and comprehensive utilization rate) data of potash mining enterprises in China, the current situation of the development and utilization of potash resources in China are evaluated. The results show that most enterprises basically meet the requirements of the “Three Rates” indicators. The salt field recovery rate and beneficiation recovery rate have increased, but the comprehensive utilization rate of associated resources is relatively low. In response to the problem of insufficient utilization of associated resources, some countermeasures are proposed such as intensifying the research and development of brine comprehensive utilization technologies, establishing a cooperation mechanism among industry, academia, and research institutions, establishing a dynamic technical standard and specification system, and strengthening policy support and supervision. The research results provide new ideas for the efficient management and utilization of potash resources, and offer data support and theoretical basis for the formulation of relevant policies.

Key words: potash resources; “Three Rate” indexes; associated resources; comprehensive utilization; countermeasures and suggestions

钾盐作为农业生产中不可或缺的关键肥料资源，其高效开发与利用直接关乎国家粮食安全与农业可持续发展[1]。全球钾盐资源分布极不均衡，约70%的储量集中于加拿大、俄罗斯、白俄罗斯等国家，这些国家凭借高品位固体钾盐矿床和成熟的开采技术，长期主导全球钾肥供应[2-4]。与全球钾资

收稿日期：2026-04-07
作者简介：孙小虹（1983—　），女，江苏南通人，博士，正高级工程师，研究方向为盐湖矿产资源勘查及开发利用。
通信作者：杜家海（1963—　），男，本科，教授级高工，研究方向为化工矿产调查及开发利用。
基金项目：地球深部探测与矿产资源勘查国家科技重大专项（2024ZD1002004）；自然资源部“战略化工矿产成矿理论及找矿技术创新团队”（ZHTD202401）；青海省科技计划项目（2021-ZJ-773）；新疆维吾尔自治区第二批“揭榜挂帅”科技项目；化工地质科技项目（ZHDK202201）

源禀赋完全不同，我国可溶性固体钾矿基本缺失，且以低品位、多伴生组分现代盐湖型钾盐矿为主，开发利用技术复杂度远超全球固体钾盐矿[5-6]，导致开采回采率、选矿回收率等关键指标长期落后于国际先进水平。

在全球人口持续增长和农业现代化加速推进的大背景下，粮食生产对钾肥的需求呈刚性增长，我国钾盐资源的供需矛盾日益凸显，钾盐资源的安全性和钾肥产业的可持续发展问题引起了社会各界的广泛关注[7-12]。近年来我国钾盐对外依存度长期维持在50%左右[13]，不仅使我国在国际钾肥市场面临价格波动风险，更对国内粮食安全构成潜在威胁。

保障钾盐资源持续供给、实现资源高效利用、满足绿色发展需求是当前我国应着力的关键[14]。自 20 世纪 90 年代起，我国政府高度重视矿产资源的综合利用，陆续出台了一系列政策措施，以促进资源的高效开发与利用。在此背景下，众多大中型矿山企业积极响应，开展了综合勘查、综合评价和综合利用的实践探索[15]。为了进一步贯彻节约资源的发展战略，自然资源部（原国土资源部）于 2012 年 6 月启动了包括钾盐在内的全国重要矿产资源“三率”（开采回采率、选矿回收率、综合利用率）的调查与评价工作；2013 年 12 月 30 日发布《钾盐资源合理开发利用“三率”指标要求（试行）》公告，对钾盐资源的开采回采率（盐田采收率）、选矿回收率、综合利用率分别提出了具体指标；2015 年 2 月发布并实施《矿产资源综合利用技术指标及其计算方法》（DZ/T 0272—2015），该标准由中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所牵头制订，界定了固体非能源矿产资源综合利用过程中主要技术指标，即开采回采率、选矿回收率、共伴生矿产综合利用率和矿产资源综合利用率等的术语、定义和计算方法。

冯安生等[16]以 2011 年为基年，对全国范围内 2009—2011 年正常生产的钾盐矿矿山企业进行“三率”指标的调查评价，结果显示，我国钾盐矿山的平均盐田采收率为 71.22%（固体钾盐开采回采率为 69.00%），选矿回收率为 55.64%，综合利用率为 39.22%，而钾盐矿共伴生资源及尾矿的利用尚未得到有效开发。近 10 年来，钾盐“三率”最低指标的实施效果如何，其可行性、适用性和前瞻性尚需进一步评估。基于此，中国化学矿业协会在自然资源部的指导下，于 2021 年对我国钾盐资源的“三率”指标实施情况进行了评估。本文将重点介绍钾盐“三率”的调查与评价成果，分析当前钾盐开发利用过程中存在的主要问题，并提出相应的对策建议，以期为钾盐资源监督管理提供参考。

1 我国钾盐资源开发利用现状

1.1 钾盐资源储量及分布

我国可溶性钾盐资源短缺，分布高度集中。根据自然资源部《2023 年全国主要矿产资源储量统计表》，截至 2023 年年底，我国钾盐矿经济可采储量（KCl）3.32 亿 t，主要分布在青海省柴达木盆地、新疆维吾尔自治区罗布泊盐湖和西藏自治区藏北盐湖区。其中，青海省经济可采储量全国第一，约 2.29 亿 t，占 68.87%；其次是新疆维吾尔自治区，经济可采储量约 0.56 亿 t，占 16.87%，二者合计约占全国总可采储量的 85.74%；西藏和云南钾盐经济可采储量分别占全国总可采储量的 7.75%和 6.51%（见图 1）。从矿床类型看，我国钾盐矿床以现代盐湖型钾盐矿规模最大[16]，其经济可采储量占全国的 93.49%，青海柴达木盆地和新疆罗布泊盐湖钾盐矿均属现代盐湖型。

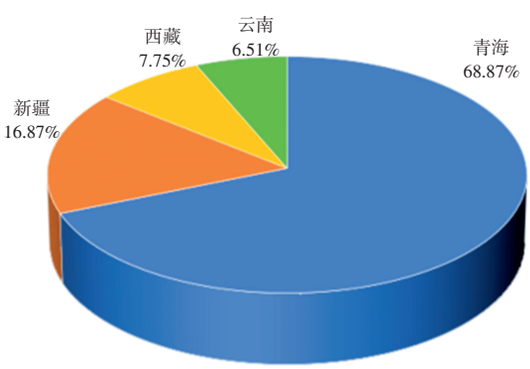


图 1 我国钾盐储量分布

Fig.1 The distribution of potash reservers in China

注：数据来源于《2023 年全国主要矿产资源储量统计表》。

我国已探明的可溶性钾盐资源以液体钾矿为主，固液并存且共伴生多种有益元素[17-18]。已探明的现代盐湖层状固体矿层普遍为贫矿，随着固体钾矿溶解转化开采技术的研发应用，部分低品位固体钾盐变为可采的钾盐资源，大大增加了各矿山的可采资源储量，有效延长了服务年限[19-20]。

1.2 钾盐资源开发情况

2000 年至今，我国钾肥产能、产量增势明显（见图 2），2000 年钾肥（K_2O，下同）产能 49.8 万 t，产量仅 30.3 万 t，2004 年产能首次突破 100 万 t。“十四五”期间，我国为世界第四大钾肥生产国，资源型钾肥生产能力基本保持稳定。据中国无机盐

工业协会钾盐钾肥行业分会统计，受部分企业连续三年停产影响，2024年国内钾肥产能调减至654.1万t，同比下降3.7%；2025年钾肥产能与2024年持平，保持稳定。

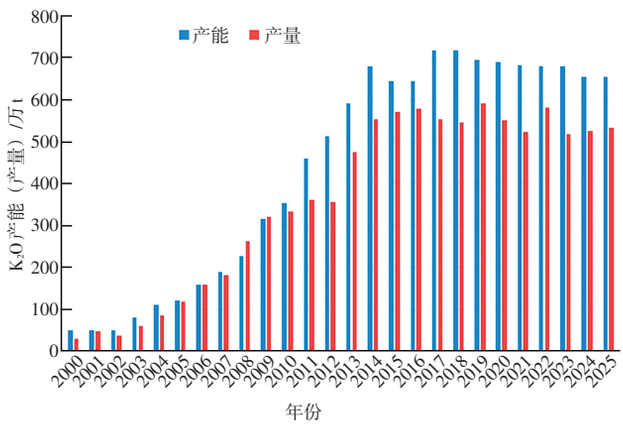


图2　2000—2025年我国钾肥产能及产量变化

Fig.2　Changes of production capacity and output of potash fertilizer in China from 2000 to 2025

注：数据来源于中国无机盐工业协会钾盐钾肥行业分会。

我国钾盐钾肥工业目前已实现从小到大、从弱到强，产品从单一到多元，技术开发从加工生产向资源高效利用转变[21]，形成了青海察尔汗盐湖和新疆罗布泊盐湖两大钾肥生产基地，其中察尔汗盐湖以青藏铁路为界划分为东、西两个开发区域。铁路以西由青海盐湖工业股份有限公司开发，铁路以东由格尔木藏格钾肥有限公司开发。青海盐湖工业股份有限公司现拥有500万t/a氯化钾、40万t/a硝酸钾、40万t/a氢氧化钾、7.2万t/a碳酸钾等生产装置。钾肥生产一直是该公司的核心业务，无论是技术工艺水平还是生产规模，均处于全球领先地位，2025年氯化钾产量约490.02万t，约占全国钾肥总产量的55.38%。格尔木藏格钾肥有限公司氯化钾产能200万t/a，是我国氯化钾行业第二大生产企业。新疆罗布泊盐湖由国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司开发，公司建有150万t/a硫酸钾生产装置及10万t/a硫酸钾镁肥生产装置，拥有全球领先的硫酸钾生产工艺与多项自主研发的工艺技术，是全球最大的单体硫酸钾生产企业。以上3家企业钾肥（实物量）产能合计870万t/a，约占资源型钾肥总产能的74%。

根据中国化学矿业协会和自然资源部调研数据以及2021年矿业权人勘查开采公示信息，共调查统计了19家钾盐矿山，实际生产矿山11家，全部是现代盐湖型钾盐矿床，设计生产规模984万t/a，年实际出矿量（光卤石量、钾混盐量）7 884.68万t，年实际采矿量（卤水量）133 720.07万t。其中，青海10家，年实际出矿量（光卤石量）5 867.44万t，年实际采矿量（卤水量）107 436.09万t；新疆1家，年实际出矿量（光卤石量、钾混盐量）2 017.24万t，年实际采矿量（卤水量）26 283.98万t。

2　钾盐“三率”指标现状

2.1　盐田采收率

2.1.1　氯化物型卤水钾盐矿床

本次调查的11家正常生产矿山有8家是氯化物型卤水钾盐矿山，占生产矿山的72.73%，年实际出矿量（光卤石量）5 784.99万t，年实际采矿量（卤水量）92 361.09万t。

8家正常生产氯化物型卤水钾盐矿山有1家盐田采收率数据有误，7家氯化物型卤水钾盐矿山中盐田采收率最高为91.76%，最低为78.00%，平均值为86.40%。氯化物型卤水钾盐矿山盐田采收率分布情况见表1。

表1　氯化物型卤水钾盐矿山盐田采收率

Table 1　The giela rate of potassium salts from chloride-type brine mines and salt fields

矿山占比/%	盐田采收率/%
10	91.76
60	89.53
80	80.00
90	80.00

2.1.2　硫酸盐型卤水钾盐矿床

本次调查的11家正常生产矿山有3家是硫酸盐型卤水钾盐矿山，占生产矿山的27.27%，年实际出矿量（光卤石量、钾混盐量）2 099.69万t，年实际采矿量（卤水量）41 358.98万t。

3家正常生产硫酸盐型卤水钾盐矿山中有1家盐田采收率数据有误，2家硫酸盐型卤水钾盐矿山盐田采收率分别为67.23%和66.36%，平均值为66.80%。

2.2　选矿回收率

2.2.1　氯化物型卤水钾盐矿床

钾盐矿山选矿方法主要有反浮选冷结晶法、冷分解正浮选法等，入选矿石类型为光卤石，其次是钾混盐。本次调查中，8座氯化物型卤水钾盐矿山选矿厂，设计年选矿生产能力1 470.58万t，2020年实际入选矿石5 613.12万t，平均入选品位为14.76%，选矿回收率最高为82.3%，最低为51.11%，平均值为62.47%。氯化物型卤水钾盐矿山选矿回收率分布情况见表2。

表 2 氯化物型卤水钾盐矿山选矿回收率

Table 2 The recovery rate of potassium salts from chloride-type brine mines in the mining industry

矿山占比/%	选矿回收率/%
10	82.30
60	62.00
80	56.00
90	55.97

2.2.2 硫酸盐型卤水钾盐矿床

本次调查中，3 座硫酸盐型卤水钾盐矿山选矿厂，分别是国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司新疆若羌县罗北凹地钾盐矿、冷湖滨地钾肥有限责任公司大盐滩钾镁盐矿和茫崖兴元钾肥有限责任公司大浪滩钾矿。其中，冷湖滨地钾肥有限责任公司数据有误。国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司设计年选矿生产能力为光卤石 932.26 万 t、钾混盐 707.74 万 t，2020 年实际入选矿石 2 017.24 万 t，入选品位为 12.28%，选矿回收率 43.82%；茫崖兴元钾肥有限责任公司设计年选矿生产能力 323.53 万 t，2020 年实际入选矿石 44.45 万 t，入选品位为 14%，选矿回收率 65%。

2.3 综合利用率

钾盐矿山共伴生有大量的钠盐、镁盐，还有锂、硼、碘、溴等有益组分，除了锂资源外，其他共伴生矿产资源均没有利用。通过多年的工艺优化和创新，盐湖伴生矿中 LiCl 提取技术得以突破，但近年来仅有 5 家矿山利用提钾老卤进行了锂资源的开发利用，目前共拥有 7 万 t/a 电池级碳酸锂产能（见表 3）。其余矿山因资源禀赋、提取技术等原因，尚未进行伴生锂资源的综合开发利用。

表 3 盐湖伴生锂资源开发利用矿山及产能

Table 3 Mining and production capacity for lithium resources associated with salt lakes

序号	矿山名称	碳酸锂产能/(万 t·a^{-1})
1	青海盐湖工业股份有限公司察尔汗盐湖钾镁盐矿	3.0
2	格尔木藏格钾肥有限公司察尔汗盐湖钾镁矿	1.0
3	国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司罗北凹地钾盐矿	0.5
4	青海中信国安锂业发展有限公司西台吉乃尔湖锂矿	1.5
5	五矿盐湖有限公司一里坪锂矿	1.0

盐湖提锂已完成从 0 到 1 的发展阶段，在“加快建设世界级盐湖产业基地”的重要指示下，我国多元提锂技术的开发以及产业化应用已全球领先，同时技术开始推广至新疆、西藏，正在加速新疆和西藏地区盐湖资源的综合开发利用。

随着资源利用技术不断进步，我国盐湖低品位难开发钾盐资源逐步得以利用[22-23]，也解决了尾盐钾资源综合利用等难题[24-29]，大幅提升了钾盐资源开发利用水平。钾盐选矿尾液为钾、镁、钠的饱和溶液，本次调查矿山企业均 100% 利用。

3 钾盐“三率”指标实施成效

从本次调查反馈意见来看，绝大多数矿山能从“三率”指标分类中快速找到钾盐矿山的分类，“三率”指标数值合适，能达到指标要求，“三率”指标分类和指标数值都不需要调整。

《钾盐资源合理开发利用“三率”指标要求（试行）》实施以来，绝大多数矿山为提高“三率”指标均采取了一定的管理措施和技改措施，其中，管理措施有：制定相关考核办法及制度，对成本控制、选矿收率、品位控制等方面进行考核，将“三率”指标纳入生产管理年度考核体系；加强对车间的技改与管理工作；加大人才队伍培养建设力度，定期组织学习培训等。技改措施有：开展盐田底板防渗新材料试验、盐田渗漏治理、盐田防渗试验性工程等研究工作提高盐田采收率；进行老旧设备淘汰更新和工艺优化等提高选矿回收率。矿山提高了综合利用率，取得一定的经济效益，反映了《钾盐资源合理开发利用“三率”指标要求（试行）》具有科学性和前瞻性，适用性强。

本次钾盐资源合理开发利用“三率”评估结论如下。

3.1 盐田采收率小幅度提高

本次调查的 11 家正常生产的盐湖钾盐矿山盐田采收率均达到《钾盐资源合理开发利用“三率”指标要求》的最低指标要求，其中，7 家氯化物型盐湖卤水矿山盐田采收率平均值为 86.40%（8 家中有 1 家数据有误），比 2011 年钾盐“三率”调查的数据提高了 12 百分点；2 家硫酸盐型盐湖卤水矿山盐田采收率平均值 66.80%（3 家中有 1 家数据有误），比 2011 年钾盐“三率”调查的数据提高了近 5 百分点。

3.2 选矿回收率基本保持稳定

本次调查的 11 家正常生产的盐湖钾盐矿山选矿回收率均达到《钾盐资源合理开发利用“三率”最低指标要求》，其中，8 家氯化物型盐湖卤水矿山选矿回收率平均值 62.47%，与 2011 年钾盐“三率”调查的数据基本一致；2 家开采硫酸盐型盐湖卤水矿山选矿回收率平均值 54.41%（3 家中有一家

数据有误），比2011年钾盐“三率”调查的数据提高了2百分点。

3.3 共伴生资源综合利用率极低，选矿尾液利用率达100%

钾盐共伴生有大量的钠、镁、锂、硼、碘、溴等资源，除了锂资源外，其他共伴生矿产资源均没有得到充分利用。选矿尾液为钾、镁、钠的饱和溶液，利用率达到100%。

4 存在的主要问题

4.1 共伴生资源利用不足

盐湖提钾过程中产生的老卤富含硼、锶、溴、铷、铯等共伴生资源，但当前这些资源的开发利用水平较低，导致大量资源浪费。这不仅降低了盐湖资源的整体经济价值，也制约了盐湖资源的综合开发利用。

4.2 技术改造与创新需持续深化

盐湖钾盐资源长期开采导致原矿品位逐渐下降，随着低品位固体钾盐不断溶采，进入盐田卤水的组分越来越复杂，这在一定程度上影响了盐田的蒸发效率，进而降低了采收效率。尽管矿山企业已经采取了一定的管理措施和技术改造措施，但在开采技术水平、工艺流程优化等方面仍需持续深化，以提高开采效率和资源利用率。

4.3 技术标准与规范体系不完善

钾盐资源综合开发利用的技术标准与规范体系尚不完善，缺乏统一、明确的技术指导和管理依据。这导致在钾盐开采、加工和综合利用过程中，难以形成统一的技术规范和操作标准，影响钾盐资源的有效开发和高效利用，也限制了我国盐湖产业的技术进步和产业升级。

4.4 政策支持与监管力度不足

目前，矿业权人公示信息主要由矿山企业自行填报公示，这导致对公示信息资料的审查把关措施难以保证，公示信息的准确性和透明度不足，可能导致政策制定和资源配置存在偏差。此外，政府在政策支持、资金扶持、监管机制等方面还需加强，确保钾盐资源的合理开发利用，防止资源浪费和环境污染。

5 对策建议

5.1 加强卤水综合利用技术研发

针对共伴生资源的综合利用问题，应加大研发力度，突破技术瓶颈，提高资源利用效率。通过技术创新，开发新的综合利用技术，将共伴生资源转化为有价值的产品，提升盐湖资源的整体经济价值。

5.2 构建紧密的产学研合作机制

加强产学研合作，推动技术创新和成果转化。建立企业与高校、科研机构之间的紧密合作关系，共同开展技术研发、人才培养和成果应用，形成产学研一体化的创新体系，定期举办技术交流研讨会，提升我国盐湖资源的综合开发利用水平。

5.3 建立动态更新的技术标准与规范体系

建立和完善钾盐资源综合开发利用的技术标准与规范体系，制定统一、明确的管理依据。鼓励企业参与标准的制定和修订工作，将新技术、新工艺纳入标准体系，以快速响应行业发展和技术进步的需要。同时，加强标准的宣贯和培训工作，提高企业和从业人员的标准化意识。建立标准实施监督机制，确保标准得到有效执行。加强对标准的国际对接，提升我国盐湖产业的国际竞争力。

5.4 强化政策扶持与监管力度

政府应出台相关政策，对在钾盐资源合理开发利用方面取得显著成效的企业给予税收优惠、资金补贴等激励措施。同时，加大监管力度，定期审查矿业权人公示信息的准确性，提高政策透明度和执行力度，建立严格的监管机制，对违反规定、浪费资源的行为进行严厉打击，确保钾盐资源的合理开发利用。

[参考文献]

[1] 焦森,郑厚义,任永健,等. 中国主要农用矿产资源安全保障战略研究[J]. 地球学报, 2021, 42(2):279-285.
JIAO S, ZHENG H Y, REN Y J, et al. A Study of the Security Strategy of Main Agricultural Mineral Resources in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2021, 42(2):279-285.

[2] 陈志勇,朱清,武海炜,等. 全球钾盐资源特征及市场发展态势分析[J]. 中国地质, 2026, 53(1):93-106.
CHEN Z Y, ZHU Q, WU H W, et al. Characteristics and market development trend of global potash resources [J]. Geology in China, 2026, 53(1):93-106.

[3] RAWASHDEH R A, MAXWELL P. Analysing the world potash industry[J]. Resources Policy, 2014, 41:143-151.

[4] 孙小虹,唐尧,陈春琳,等.世界钾盐产业现状[J]. 现代化工, 2015, 35(12):1-3.
SUN X H, TANG Y, CHEN C L, et al. Present status of potassium salt industry in the world[J]. Modern Chemical Industry, 2015, 35(12):1-3.

[5] 王淑丽,熊先孝,王炳铨,等. 中国矿产地质志·钾盐矿卷[M]. 北京:地质出版社, 2020.

[6] 焦鹏程,刘成林,王石军,等. 青海别勒滩低品位固体钾矿液化开发技术[M]. 北京:科学出版社, 2020.

[7] 王淑丽,祁才吉,崔博京,等. 中国钾盐资源勘查趋势分析与展望[J]. 地质学报, 2024, 98(10):2978-2988.
WANG S L, QI C J, CUI B J, et al. Analysis and prospect of exploration trends of potassium salt resources in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2024, 98(10):2978-2988.

[8] 罗婷,张永庆,郑明贵,等. 中国钾盐资源安全评估与预警研

究[J]. 地球科学进展, 2022, 37(6):575-587.
LUO T, ZHANG Y Q, ZHENG M G, et al. Security assessment and early warning of potash resources in China[J]. Advances in Earth Science, 2022, 37(6):575-587.

[9] 王莹. 中国钾资源供需现状与资源保障程度[J]. 矿产勘查, 2023, 14(10):1805-1813.
WANG Y. The supply and demand status and resource guarantee degree of potash in China[J]. Mineral Exploration, 2023, 14(10):1805-1813.

[10] 熊增华, 王石军. 中国钾资源开发利用技术及产业发展综述[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(6):1-7.
XIONG Z H, WANG S J. Overview of potassium resources exploitation & utilization technology and potash industry development [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2020, 40(6):1-7.

[11] 牟思宇, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国钾盐供应安全的主成分-灰色关联分析[J]. 中国矿业, 2018, 27(3):27-31, 38.
MOU S Y, SHA J H, YAN J J, et al. Principal component and gray correlation analysis of potash supply safety in China[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(3):27-31, 38.

[12] 伊跃军, 张秀峰, 张利珍, 等. 中国钾盐资源开发利用现状及建议[J]. 无机盐工业, 2024, 56(10):12-19.
YI Y J, ZHANG X F, ZHANG L Z, et al. Present situation and suggestions on exploitation and utilization of potassium salt resources in China[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2024, 56(10):12-19.

[13] 中国无机盐工业协会钾盐钾肥行业分会. 峥嵘岁月:中国钾盐钾肥70年发展史[M]. 北京:化学工业出版社, 2020.

[14] 江敬安, 陈丽, 沈兵, 等. 世界肥料产业发展趋势及展望[J]. 现代化工, 2023, 43(1):13-20.
JIANG J A, CHEN L, SHEN B, et al. Development trend and prospect of world fertilizer industry [J]. Modern Chemical Industry, 2023, 43(1):13-20.

[15] 宋建军. 提高矿产资源开发利用效率的思考[J]. 国土资源情报, 2015(9):28-33.
SONG J J. Thoughts on the Improvement in Utilization Efficiency of Mineral Resources[J]. Natural Resources Information, 2015(9):28-33.

[16] 冯安生, 刘玉林, 吕振福, 等. 我国钾盐资源开发利用"三率"调查与评价[J]. 矿产保护与利用, 2016(5):32-35.
FENG A S, LIU Y L, LV Z F, et al. An Investigation on Mining Recovery, Processing Recovery and Comprehensive Recovery of Sylvite Mines in China [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2016(5):32-35.

[17] 韩豫川, 熊先孝, 商朋强, 等. 中国钾盐矿成矿规律[M]. 北京:地质出版社, 2012.

[18] 商朋强, 祁才吉, 焦森, 等. 中国钾盐矿产预测评价模型和资源潜力分析[J]. 地质通报, 2019, 38(10):1758-1767.
SHNAG P Q, QI C J, JIAO S, et al. Potash assessment models and resource potential analysis in China[J]. Geological Bulletin of China, 2019, 38(10):1758-1767.

[19] 王石军. 察尔汗盐湖固体钾矿储量分析与钾肥规模研究[J]. 化工矿物与加工, 2014, 43(2):20-23.
WANG S J. Analysis of reserves of solid potassium deposits of Chaerhan Salt Lake and study of its potash fertilizer capacity[J]. Industrial Minerals & Processing, 2014, 43(2):20-23.

[20] 王石军, 王兴富. 察尔汗盐湖固体钾矿储量分析与可采规模研究[J]. 盐业与化工, 2013, 42(12):4-7.
WANG S J, WANG X F. Study of Solid Potassium Mineable Ore Reserves and Recoverable Scale of Chaerhan Salt Lake [J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2013, 42(12):4-7.

[21] 周月. 我国钾盐钾肥改革开放40年硕果累累[J]. 磷肥与复肥, 2018, 33(12):9-11.
ZHOU Y. Great achievements in potash salt and potash fertilizer industry of China during 40 years of reform and opening up[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2018, 33(12):9-11.

[22] 王罗海, 王石军, 刘万平, 等. "固转液"技术应用及其对资源和环境的影响分析[J]. 化工矿产地质, 2020, 42(4):378-381.
WANG L H, WANG S J, LIU W P, et al. The Application of "Immersion Dissolution and Transformation Method for Solid Potassium Ore" and its Impact on Resources and Environment [J]. Geology of Chemical Minerals, 2020, 42(4):378-381.

[23] 魏进财, 陈晶源, 宋桂春, 等. 察尔汗盐湖察尔汗区段西部固体钾矿溶采效果研究[J]. 无机盐工业, 2024, 56(3):70-79.
WEI J C, CHEN J Y, SONG G C, et al. Study on efficiency of liquefaction mining of solid potassium ore in western Qarhan area of Qarhan Salt Lake[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2024, 56(3):70-79.

[24] 王石军, 侯元昇, 李中华, 等. 钾肥生产中副产尾盐梯级利用试验研究[J]. 盐湖研究, 2017, 25(3):46-50.
WANG S J, HOU Y S, LI Z H, et al. The Experimental Research on Cascade Utilization of Flotation Salt in the Potash Fertilizer Production[J]. Journal of Salt Lake Research, 2017, 25(3):46-50.

[25] 李守江, 陈鹏, 赵云良, 等. 罗钾浮选尾盐的综合利用及技术经济分析[J]. 非金属矿, 2018, 41(1):60-62.
LI S J, CHEN P, ZHAO Y L, et al. Comprehensive Utilization of Flotation Tail Salt in SDIC and Technical Economic Analysis[J]. Non-Metallic Mines, 2018, 41(1):60-62.

[26] 胡莉. 浅谈盐湖含钾尾盐综合利用进展[J]. 盐科学与化工, 2018, 47(2):1-2.
HU L. Development of Integrated Utilization for Tail Potassium Salt in Salt Lake [J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2018, 47(2):1-2.

[27] 边红利, 马号兵, 赵龙, 等. 冷结晶-正浮选生产氯化钾尾液循环利用技术研究[J]. 化肥工业, 2018, 45(2):60-63.
BIAN H L, MA H B, ZHAO L, et al. Journal of Salt Science and Chemical Industry[J]. Chemical Fertilizer & Industry, 2018, 45(2):60-63.

[28] 史忠录, 马珍, 李宇飞, 等. 浮选尾盐中氯化钾的回收利用技术研究[J]. 化工管理, 2023(4):69-71.
SHI Z L, MA Z, LI Y F, et al. Study on Recovery and Utilization Technology of Potassium Chloride from Flotation Tailings [J]. Chemical Engineering Management, 2023(4):69-71.

[29] 季荣, 卢志斌, 刘雨星. 察尔汗盐湖反浮选提钾尾盐综合利用试验研究[J]. 盐科学与化工, 2022, 51(6):27-29.
JI R, LU Z B, LIU Y X, et al. Experimental Study on Comprehensive Utilization of Tail Salt from Potassium Extraction by Reverse Flotation in Chaerhan Salt Lake[J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2022, 51(6):27-29.