

盐类资源环境与开发利用

——“庆祝郑绵平院士九十华诞暨从事地质工作 70 周年”专辑特邀主编寄语

张永生

中国地质科学院 自然资源部深地科学与探测技术实验室, 北京 100037;
中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;
中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037

摘 要: 盐湖是一种集无机盐、有机质和嗜盐生物于一体的综合性自然资源, 是大自然信息库和天然实验室, 其包含的丰富盐类矿产资源以及其他相关资源类型与农业、工业以及人们日常生活的多方面息息相关。我国现代陆相盐湖和古代海/陆相盐盆涉及多个省区, 是一个富“盐”的国家: 钾、锂、硼等战略紧缺盐类矿产是新一轮找矿突破行动关注的重点和热点; 盐类资源开发利用和环境保护是相辅相成的两个方面。以郑绵平院士提出的“盐类学”理论为指导, 聚焦盐类资源环境领域的找矿勘查、成因机制、开发利用以及环境预警等问题, 在《地球学报》编辑部的大力支持下, 本“庆祝郑绵平院士九十华诞暨从事地质工作 70 周年”专辑共征集相关论文 18 篇, 旨在为后续的盐类资源领域理论研究与实践应用提供参考, 并借此向郑绵平院士九十华诞暨从事地质工作 70 周年献礼。

关键词: 盐类资源; 成因机制; 找矿勘查; 开发利用; 环境预警

中图分类号: P619.211 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.090401

Salt Resource, Environment and Its Exploitation and Utilization: Guest Editor's Preface to the “To Celebrate the 90th Birthday of Academician ZHENG Mianping and the 70th Anniversary of His Geological Work”

ZHANG Yongsheng

MNR SinoProbe Laboratory, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;
MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;
MNR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: Salt lake is a comprehensive natural resource combining inorganic salt, organic matter and halophilic organisms, and it is also a natural information base and a natural laboratory. Its rich salt mineral resources and other related resources are closely related to agriculture, industry and many aspects of people's daily life. Modern continental salt lakes and ancient marine/continental salt basins cover a number of provinces and regions in China, which can be called as a “salt-rich” country. Related to this, salt minerals in strategic shortage such as potassium, lithium and boron are the focuses and hot spots of the new round of ore-prospecting breakthrough action, at the same time the exploitation and utilization of salt resources and environmental protection are two complementary aspects. Guided by the theory of “salinology” put forward by Academician ZHENG Mianping, with great support of the editorial office of “Acta Geoscientica Sinica”, this “To celebrate the 90th Birthday of Academician ZHENG Mianping and the 70th Anniversary of His Geological Work” album collected a total of 18 relevant papers, focusing on the ore prospecting, genetic mechanism, exploitation and utilization as well as environmental warning in the field of salt resources and environment. The purpose is to provide reference for the subsequent

theoretical research and practical application in the field of salt resources, and it is also a tribute to the 90th birthday of Academician ZHENG Mianping and the 70th anniversary of his geological work.

Key words: salt resource; genetic mechanism; ore prospecting; exploitation and utilization; environmental warning

郑绵平(1999)提出“盐湖学”的理论概念,其研究范围主要限于现代内陆地表盐湖(干盐湖)及其周围的盐沼带,研究对象主要为盐湖与盐类沉积,涉及的学科领域包括地质学、生物学、化学与化工等多个学科,以“盐湖学”理论体系为支撑,相应提出了以盐湖矿业、盐湖农业、盐湖旅游业为底色的“大盐湖产业”的工程化发展方向。

21世纪肇始,盐湖科学已发展到“盐体系”阶段,研究对象涵盖古今湖海、港湾、沼泽、盐碱地及盐泉和人工盐田等盐类聚集体。随着近代科学技术的不断进步,成盐元素成盐作用的广泛性和重要性日益凸显,对盐类聚集体的研究,不再限于盐类资源的地质、化学、采选和工程技术领域,而是延伸到古今气候与环境保护、嗜盐和耐盐生物机理和应用、以及医学、保健、康养等相关盐类领域的研究;火星等大量盐类的发现,标志着盐科学在宏观上已达到行星研究时代(郑绵平,2006)。传统“盐湖学”的理论远远不能满足盐类科学研究快速发展的需求,“盐湖学”→“盐体系”→“盐类学”是盐类科学发展的必然趋势。

我国是一个富“盐”的国家,陆相盐湖在13个省区均有分布,其中青藏高原盐湖富含钾、锂、硼、铷、铯等,是开发盐湖矿业的主要对象;我国西部内陆盐湖和东部滨海及其相邻的广袤盐碱土,总面积约15亿亩,这是应引起重视的涉盐土地资源,是开展盐湖农业研究和示范的重要地域;盐湖旅游和生态环境已成为盐类资源不可分割的重要组成;前第四纪海/陆相盐矿和卤水在17个省区均有产出,其中四川盆地、思茅盆地、羌塘盆地、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地等是我国重要的海相成钾有利区,中国海相盆地成钾理论研究和找矿突破实践方兴未艾。作为我国大宗紧缺战略性“粮食”矿产,青海察尔汗、新疆罗布泊等陆相盐湖钾盐正发挥着“压舱石”的作用;随着新一轮找矿突破战略行动的深入推进,海相可溶性固体钾盐成矿理论与找矿突破将迎来期盼已久的新局面。

1 重要海/陆相钾盐盆地成钾理论与找矿新进展

钾盐是我国大宗紧缺战略性矿产,主要用于钾肥生产,对保障粮食安全和增加农作物的产量具有重要意义。中国目前已探明的钾盐资源以第四纪现代盐湖卤水钾矿为主,但其钾盐资源和产量有限,

难以满足中国作为一个农业大国对钾肥需求量的日益增长(郑绵平,2006)。当前中国钾盐资源消耗大规模依靠进口,2023年中国钾盐对外依存度达到67%。因此,除现代浅表盐湖外,必须加强在我国几大重要海/陆相钾盐盆地的找钾勘查和研究(郑绵平等,2015),寻找新的钾盐资源接续基地。

青海柴达木盆地是当前我国主要的钾盐产区,其内部的浅表盐湖固相、液相钾盐资源已经得到开发,但面临资源接续问题(侯献华等,2022)。基于前期对柴达木盆地成盐聚钾的规律性认识,在中国地质调查局“战略性矿产资源调查评价”计划支持下,以郑绵平院士提出的“承袭式”成钾理论为指导,在柴达木盆地黑北凹地部署实施的“探采一体化”柴钾1井钻获1 021.95 m巨厚松散砂砾储卤层,全井段抽卤试验获涌水量8 586 m³/d、KCl平均含量0.54%的高产工业品位“砂砾型”卤水钾矿,取得了柴达木盆地陆相深层卤水钾盐找矿新突破(张永生等,2024)。

目前,全球已探明的钾盐矿绝大部分产于古代海相盐盆地中,为海相可溶性固体钾盐矿床(氯化钾、光卤石)。因此,除继续开展陆相找钾外,还要重视开展海相盐类成矿区以及地下卤水找钾预测和油钾兼探,只有在中国海相盐盆地找钾取得重大突破,才能从根本上解决中国钾盐严重短缺的问题(郑绵平,2006)。四川盆地中一下三叠统地层中发育大量膏-盐沉积,是我国海相钾盐勘查的重点区域和层位,近年来在川东北普光地区取得了海相可溶性“新型杂卤石钾盐矿”的重大发现(郑绵平等,2018),赋存于同一层位的海相富钾锂卤水是海相钾盐的有益补充。左璠璠等(2024)通过对川宣地1井岩心资料进行系统的沉积微相和层序地层学分析,认为川东北地区与石盐共伴生的碎屑颗粒杂卤石发育在四级层序海退末期与五级旋回海侵的叠加时期,明确了原生杂卤石形成的沉积控矿机理,为后续该类型钾盐矿的勘查提供了参考。此外,张兵等(2024)通过梳理四川盆地三叠系深层富钾、锂卤水的勘探历程、成因机制以及富集规律等,提出了下一步针对富钾锂卤水勘探开发的系列建议。

鄂尔多斯盆地陕北坳陷在奥陶纪发育膏盐岩,是目前我国发现的最大海相古盐盆之一。桂宝玲等(2024)通过分析鄂尔多斯盆地东缘地震剖面的构造特征,认为在盆地东缘晋西挠褶带西部马五₆亚段沉积期正断层的作用下,富钾卤水大量汇聚于东断

西超的活动同沉积凹陷,在持续干旱的强蒸发环境下,卤水持续浓缩,成钾窗口出现。根据奥陶系活动边界正断层的平面走向,判断鄂尔多斯盆地中东部由边界断层控制的晋西盐坳应该是鄂尔多斯盆地中东部最有利成钾区。

2 盐湖资源环境特征与成因机制

盐湖是一种集无机盐、有机质和嗜盐生物于一体的综合性自然资源,其中包含多矿种的矿产资源,不仅赋有常见的膏盐碱硝等盐类矿产,而且蕴含钾、锂、铯、铷、硼和铀等关键元素(郑绵平, 2001)。现代和第四纪早—中期盐湖主要分布于第四纪不同阶段的干旱和半干旱气候带,我国盐湖主要位于北半球盐湖带欧亚盐湖域的东端,可划分为四个盐湖区(郑绵平, 2001),其中青藏高原盐湖区湖泊面积大,盐湖数量多,且盐湖化学类型齐全,富含锂、钾、铷、铯等关键矿产资源,是当前中国现代盐湖研究的重点和热点(郑绵平等, 2016)。

本专辑收录的关于盐湖资源环境特征与成因机制研究的文章都是基于青藏高原盐湖区开展工作取得的认识。李胜群等(2024)通过分析班戈错富锂盐湖的水位变化特征,并探讨了其驱动因素。研究结果为青藏高原月际尺度气候变化的盐湖区域响应和班戈错将来开采过程中锂资源保障程度研究提供数据基础。宋高等(2024)基于对柴达木盆地托素湖不同区域的介形虫 *Eucypris mareotica* 壳体及其寄生水体的微量元素研究,初步建立了壳体 Li 的分配系数和 Mn/Ca 分别与温度及水深之间的定量转换公式,可为托素湖地区古环境定量重建提供依据和参考。韩文霞等(2024)在反演柴达木盆地西部水文气候演化历史的基础上,结合天体轨道参数对比,得出天体轨道倾角低幅和低偏心率等特殊组合是研究区关键的干旱化加剧和盐层发育期主要原因的结论;且上述事件在不同时间尺度上都与全球冰量和北半球高纬气候变化之间存在紧密的联系。研究成果为柴达木盆地乃至其他干旱区的成盐机制和深时发育规律提供了新的理论视角和研究思路。石海岩等(2024)分析了察尔汗北部东陵湖不同卤水和钻孔沉积物的锂、硼含量特征及差异,并结合盆地补给河流和尾间盐湖的 Li^+ 含量和 $\delta^{11}\text{B}$ 值,认为东陵湖锂、硼资源元素与含盐溶质的水文补给来源为察尔汗盐湖北部断裂带 Ca-Cl 水。牛新生等(2024)通过对西藏当雄错盐湖碳酸盐沉积物的分析,判断其沉积水体为缺氧、还原的咸水环境,且沉积环境为干旱、寒冷的气候;并明确了地下淡水注入导致湖泊水体变淡和还原性减弱以及湖水浓缩成盐湖的具体时间。研究有助于了解盐湖形成过程中沉积环境的变

化以及锂、硼资源的富集过程。李宫达等(2024)首次利用工业 CT 技术获得察尔汗盐湖固体钾矿准确的孔隙度和给水度,证实了该方法用于盐类样品测试的可靠性。研究结果可为察尔汗固体钾矿资源承载力评价提供科学依据。李明慧等(2024)利用青藏高原西部郭扎错湖心,探讨了有机碳和无机碳沉积通量与储量在该湖由淡水湖演变到咸水湖过程中的变化,认为无机碳和有机碳的沉积分别与碳酸盐矿物和黏土矿物成因有关,且二者都与环境、湖水性质变化有关。林勇杰等(2024)以青藏高原盐湖为依托,综述了盐湖环境中硅酸盐和碳酸盐反风化作用的研究进展,探讨了青藏高原盐湖反风化作用对关键元素锂、钾、铷、铯等地球化学循环的影响。指出开展盐湖反风化研究不仅可以深入理解青藏高原盐湖的关键金属元素成矿作用及碳循环过程,而且有助于丰富反风化理论。

3 盐类矿物相平衡研究

盐湖卤水资源是中国钾肥生产的主要矿物来源。水盐体系相平衡与相图研究可为盐湖液体矿产资源的分离提取、有效开发提供理论基础(郑绵平等, 2016)。杨秋叶等(2024)根据柴达木盆地深部地下卤水的组成特点,采用等温溶解平衡法对四元体系 $\text{KBr}-\text{CaBr}_2-\text{SrBr}_2-\text{H}_2\text{O}$ 在 298.15 K 时溶解度和相平衡规律进行研究,可为含钾、溴、锶卤水矿物体系提供基础数据,为后续复杂卤水体系模型的构建提供支撑。王昕宇等(2024)聚焦盐湖卤水中硼资源的有效开发利用,以 288.15 K 作为实验温度,对 MgSO_4 质量分数在不同浓度的溶液中章氏硼镁石的转化规律进行了实验研究,有助于阐明盐湖镁硼酸盐形成过程机制,对于丰富盐湖硼酸盐化学、推动盐湖卤水合理开发利用提供了参考。陈燕等(2024)开展四元体系 ($\text{NaB}_5\text{O}_8+\text{KB}_5\text{O}_8+\text{RbB}_5\text{O}_8+\text{H}_2\text{O}$) 在 288.15 K 下的相平衡研究,为含碱金属的五硼酸盐体系部分溶解度数据进行补充的同时,也为盐湖矿物中资源难分离,提取成本高,利用效率低等难题提供了理论分析。

4 盐湖资源开发利用

面对淡水资源短缺和土地盐碱化问题,郑绵平院士提出了“盐湖农业”的概念,为解决上述问题提供了新的思路。孔凡晶等(2024)评述了盐生植物在农业上应用的国内外研究进展,重点综述了盐生植物作为食物、饲料、工业原料等方面的研究,并对我国盐湖农业的发展提出了下一步的建议。

王云生等(2024)介绍了国内铷铯资源、提取技术及特点,并建议下一步加强国内铷铯资源调查、

勘查和低品位固体矿、液体矿资源综合提取技术攻关, 拓宽铷铯产品新性能和应用领域。

王爱云等(2024)利用野外实地调查与遥感卫星技术, 对扎布耶盐湖工业生产碳酸锂的环境影响进行了系统研究, 认为环境影响方式主要表现为资源损毁、地质灾害和水土气等方面, 但其破坏是局部、可控的, 并进一步提出了多种保护措施以及长期监测预警等建议, 为扎布耶盐湖的绿色可持续开发提供参考依据。

5 结论

本专辑中发表的 18 篇文章, 从内容上涉及盐湖资源的成矿机制、环境特征以及盐矿物的相平衡研究, 基于大量基础研究工作, 探讨了盐湖资源开发利用过程中的产业、技术及环境等问题。从研究范围方面, 既包含了第四纪现代盐湖, 也涵盖了古代深部海/陆相重要盐盆地。本文对这些研究成果进行了简单的总结, 希望有助于读者对我国盐类资源环境与开发利用的相关内容和进展进行了解。郑绵平院士提出的盐湖学理念、盐类学的发展引领、以及大盐湖产业是一项具有重要理论和实践意义的盐类地质科学事业, 所涵盖的学科广度和思考的深度是本专辑这 18 篇文章远远不及的, 需要从事盐湖及盐类资源环境和开发利用研究的专家学者在今后的工作中敢于挑战、勇于创新、积极进取, 不断取得理论创新和找矿突破重大成果, 丰富和发展地质科学事业, 有效服务国民经济建设和社会文明进步。

6 致谢

本专辑的出版, 得到了从事盐湖研究的专家学者的支持和积极响应, 特别是中国地质科学院矿产资源研究所赵元艺研究员在专辑稿件初审过程中提出了宝贵的意见和悉心的指导。《地球学报》编辑部付出了大量的辛苦劳动, 多位匿名审稿人评审了专辑论文, 在此一并衷心感谢。

谨以本专辑敬贺郑绵平院士九十华诞暨从事地质工作 70 周年。

参考文献:

- 陈燕, 王佳悦, 王丹阳, 等, 2024. 四元体系 ($\text{NaB}_5\text{O}_8 + \text{KB}_5\text{O}_8 + \text{RbB}_5\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O}$) 288.15 K 固液相平衡与相图研究[J]. 地球学报, 45(5): 807-813.
- 桂宝玲, 张永生, 邢恩袁, 等, 2024. 鄂尔多斯盆地东缘奥陶纪马家沟期边界断层的新认识及其对成钾凹陷的控制[J]. 地球学报, 45(5): 678-690.
- 韩文霞, 方小敏, 张涛, 2024. 天体轨道参数调控柴达木盆地第四纪盐类资源形成的新模式[J]. 地球学报, 45(5): 715-727.
- 侯献华, 王伟, 郑绵平, 等, 2022. 柴达木盆地西部黑北凹地—

- 大浪滩深层卤水钾盐储卤层地震响应特征研究[J]. 地学前缘, 28(6): 134-145.
- 孔凡晶, 王现洁, 王利伟, 2024. 利用盐生植物发展“盐湖农业”研究进展[J]. 地球学报, 45(5): 815-822.
- 李宫达, 叶传永, 赵元艺, 等, 2024. 基于工业 CT 的青海察尔汗盐湖固体钾矿孔隙度与给水度研究[J]. 地球学报, 45(5): 757-768.
- 李明慧, 朱立平, 鞠建庭, 等, 2024. 不同环境下湖泊矿物和湖水性质对碳埋藏的制约——以西藏郭扎错为例[J]. 地球学报, 45(5): 769-776.
- 李胜群, 叶传永, 赵元艺, 等, 2024. 青藏高原中部班戈错富锂盐湖水位月际变化与驱动因素分析[J]. 地球学报, 45(5): 691-705.
- 林勇杰, 郑绵平, 2024. 青藏高原盐湖反风化作用与关键元素循环[J]. 地球学报, 45(5): 777-790.
- 牛新生, 刘喜方, 马妮娜, 等, 2024. 西藏当雄错盐湖碳酸盐沉积环境及其地质意义[J]. 地球学报, 45(5): 743-756.
- 石海岩, 樊启顺, 王利文, 等, 2024. 察尔汗北部东陵湖 Li、B 资源分布特征与物质来源[J]. 地球学报, 45(5): 728-742.
- 宋高, 丁涛, 马宏涛, 2024. 柴达木盆地托素湖现生 *Eucypris mareotica* 壳体微量元素环境指示意义研究[J]. 地球学报, 45(5): 706-714.
- 王爱云, 张振维, 赵元艺, 2024. 西藏扎布耶盐湖锂矿开发的环境影响研究[J]. 地球学报, 45(5): 830-840.
- 王昕宇, 宁恒立, 王宇琪, 等, 2024. 288.15 K 下硫酸盐溶液体系中章氏硼镁石转化规律研究[J]. 地球学报, 45(5): 798-806.
- 王云生, 郭娟, 刘喜方, 等, 2024. 中国铷铯资源、提取技术与开发利用研究[J]. 地球学报, 45(5): 830-840.
- 杨秋叶, 崔瑞芝, 聂国亮, 等, 2024. 298.15 K 下 $\text{KBr}-\text{CaBr}_2-\text{SrBr}_2-\text{H}_2\text{O}$ 四元体系相平衡研究[J]. 地球学报, 45(5): 791-797.
- 张兵, 王绪本, 郑绵平, 等, 2024. 四川盆地三叠系气田型深层富钾锂卤水勘探历程、进展与展望[J]. 地球学报, 45(5): 665-677.
- 张永生, 侯献华, 郑绵平, 等, 2024. 柴达木盆地卤水钾盐迁移规律与找矿新突破[J]. 地球学报, 45(5): 643-650.
- 郑绵平, 1999. 论盐湖学[J]. 地球学报, 20(4): 395-401.
- 郑绵平, 2001. 论中国盐湖[J]. 矿床地质, 20(2): 181-189.
- 郑绵平, 2006. 盐湖学的研究与展望[J]. 地质评论, 52(6): 737-746.
- 郑绵平, 张永生, 刘喜方, 等, 2016. 中国盐湖科学技术研究的若干进展与展望[J]. 地质学报, 90(9): 2123-2165.
- 郑绵平, 张震, 侯献华, 等, 2015. 中国钾资源远景与矿业发展战略[J]. 国土资源情报, (10): 3-9.
- 左璠璠, 张永生, 苏奎, 等, 2024. 川东北普光地区下三叠统蒸发岩沉积特征与演化及其对钾盐矿形成的控制作用[J]. 地球学报, 45(5): 651-664.

References:

- CHEN Yan, WANG Jiayue, WANG Danyang, et al., 2024. Solid-liquid Phase Equilibrium and Phase Diagram of the Quaternary System ($\text{NaB}_5\text{O}_8 + \text{KB}_5\text{O}_8 + \text{RbB}_5\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O}$) at 288.15 K[J]. Acta Geoscientia Sinica, 45(5): 807-813(in Chinese with English abstract).
- GUI Baoling, ZHANG Yongsheng, XING Enyuan, et al., 2024. New Understanding of Boundary Fault Control of Potassium Sag Formation in the Majiagou Period of the Ordovician in

- the Eastern Margin of the Ordos Basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 678-690(in Chinese with English abstract).
- HAN Wenxia, FANG Xiaomin, ZHANG Tao, 2024. New Model for Orbital Forcing Salt Formation in the Qaidam Basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 715-727(in Chinese with English abstract).
- HOU Xianhua, WANG Wei, ZHENG Mianping, et al., 2022. Seismic response characteristics of the Heibei Concave-Dalangtan potassium-rich deep brine reservoir in western Qaidam Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 28(6): 134-145(in Chinese with English abstract).
- KONG Fanjing, WANG Xianjie, WANG Liwei, 2024. Research Progress of Using Halophytes to Develop "Salt Lake Agriculture" [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 815-822(in Chinese with English abstract).
- LI Gongda, YE Chuanyong, ZHAO Yuanyi, et al., 2024. Study on Porosity and Specific Yield of Qarhan Salt Lake Solid Potassium Mine in Qinghai Province Based on Industrial CT[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 757-768.
- LI Minghui, ZHU Liping, JU Jianting, et al., 2024. Carbon Burial Inferred from Minerals and Lake Water Properties: A Case Study of Guozha Co in Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 769-776(in Chinese with English abstract).
- LI Shengqun, YE Chuanyong, ZHAO Yuanyi, et al., 2024. Analysis of Inter-monthly Variation and Driving Factors of Water Level Fluctuation in Bankog Co, A Lithium-rich Salt Lake, Central Tibetan Plateau[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 691-705(in Chinese with English abstract).
- LIN Yongjie, ZHENG Mianping, 2024. Reverse Weathering in Salt Lakes on the Qinghai-Tibet Plateau and Its Implications for Key Element Cycling[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 777-790(in Chinese with English abstract).
- NIU Xinsheng, LIU Xifang, MA Nina, et al., 2024. Sedimentary Environment of Carbonate Deposits and Its Geological Significance in Dangxiong Co, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 743-756(in Chinese with English abstract).
- SHI Haiyan, FAN Qishun, WANG Liwen, et al., 2024. Characterization of Lithium and Boron Resource Distribution and Material Sources in Dongling Lake, Located in the Northern Region of Qarhan[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 728-742(in Chinese with English abstract).
- SONG Gao, DING Tao, MA Hongtao, 2024. The Environmental Implications of Trace Element in Shells of Living *Eucypris mareotica* in Tuosu Lake, Qaidam Basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 706-714(in Chinese with English abstract).
- WANG Aiyun, ZHANG Zhenwei, ZHAO Yuanyi, 2024. Research on Rubidium and Cesium Resources, Extraction Technology, Development, and Utilization in China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 830-840(in Chinese with English abstract).
- WANG Xinyu, NING Hengli, WANG Yuqi, et al., 2024. Transformation of Hungchaoite in Sulfate Solution System at 288.15 K[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 798-806(in Chinese with English abstract).
- WANG Yunsheng, GUO Juan, LIU Xifang, et al., 2024. Research on Rubidium and Cesium Resources, Extraction Technology, Development, and Utilization in China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 823-829(in Chinese with English abstract).
- YANG Qiuye, CUI Ruizhi, NIE Guoliang, et al., 2024. Brine Mineral Equilibrium Studies of a $\text{KBr}-\text{CaBr}_2-\text{SrBr}_2-\text{H}_2\text{O}$ System at 298.15 K[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 791-797(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Bing, WANG Xuben, ZHENG Mianping, et al., 2024. Exploration Process, Progress, and the Prospect of Deep Potassium-rich Lithium-rich Brine in Triassic Gas Field of Sichuan Basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 665-677(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yongsheng, HOU Xianhua, ZHENG Mianping, et al., 2024. Migration and Accumulation Patterns of Potassium Salts in Brine from the Qaidam Basin and New Breakthroughs in Mineral Exploration[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 673-650(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mianping, 1999. Initial discussion of salinology[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 20(4): 395-401(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mianping, 2001. On saline lakes of China[J]. *Mineral Deposits*, 20(2): 181-189, 128(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mianping, 2006. Salinology: Research and Prospects[J]. *Geological Review*, 52(6): 737-746(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mianping, ZHANG Yongsheng, LIU Xifang, et al., 2016. Progress and Prospects of Salt Lake Research in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(9): 2123-2165(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mianping, ZHANG Zhen, HOU Xianhua, et al., 2015. The prospects and the Ming Development Strategy of Potassium Resources in China[J]. *Land and Resources Information*, (10): 3-9(in Chinese with English abstract).
- ZUO Fanfan, ZHANG Yongsheng, SU Kui, et al., 2024. Sedimentary Characteristics and Evolution of the Lower Triassic Evaporite and Its Control on the Formation of Potassium Ore in the Puguang Area, Northeastern Sichuan Basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 45(5): 651-664(in Chinese with English abstract).

中国地质科学院研究员、博士生导师
中国地质学会盐类资源环境专业委员会主任
《地球学报》编委

二〇二四年八月二十八日于北京