

# 我国钾盐找矿规律新认识和进展

郑绵平<sup>1,2)</sup>, 张 震<sup>1,2)</sup>, 张永生<sup>1,2)</sup>, 刘喜方<sup>1,2)</sup>, 尹宏伟<sup>3)</sup>

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

2) 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037;

3) 南京大学, 江苏南京 210093

**摘 要:** 本文通过对比研究国内外钾盐矿床成钾特征, 总结出了我国海、陆相成盐盆地和成盐成钾特性: 成盐具有多期性、成盐时代差异性、成盐作用迁聚性、物质成分多样性、后期盐盆地的变动性和多液态矿的特点; 厘定了 3 个盐类成矿域和 1 个成矿带; 提出了我国找钾策略——以海相蒸发盐盆地为主攻方向、兼探陆相盐湖及含钾地下卤水; 提出了我国主要的古代盐盆地多产于“准克拉通(陆块)”, 特别是海相盐盆地均发育于前寒武纪为基底的陆块中, 以及钾盐沉积于构造稳定区中相对活动的亚稳定区和在构造亚稳定区中聚集于相对稳定区的新认识; 发展了适合中国地质特点的找钾理论认识, 有效地推动了油钾兼探工作。发现滇西南—羌北中上侏罗统若干钾盐显示, 特别是指导和部署滇西南深部侏罗纪找钾, 并取得超常规的进展; 进一步缩小陕北奥陶系找钾包围圈; 引领“油钾兼探”实施, 实现了塔里木盆地库车凹陷古近系找钾的重大实质性进展; 在柴达木盆地西部发现新的早第四纪富钾层位; 指导和取得青藏高原特种盐湖综合找锂、钾和评价的重要进展, 新发现一批大中型锂、钾特种盐湖(特别是多格错仁大型锂、硼(钾)盐湖)和取得综合利用工艺新进展。

**关键词:** 成盐盆地; 成盐成钾特性; 盐类成矿域; 构造基底控制成钾; 找钾新线索

中图分类号: P619.211; P618.08 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.03.02

## Potash Exploration Characteristics in China: New Understanding and Research Progress

ZHENG Mian-ping<sup>1,2)</sup>, ZHANG Zhen<sup>1,2)</sup>, ZHANG Yong-sheng<sup>1,2)</sup>, LIU Xi-fang<sup>1,2)</sup>, YIN Hong-wei<sup>3)</sup>

1) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, Ministry of Land and Resources, Beijing 100037;

3) Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093

**Abstract:** Based on a comparative study of potash-forming characteristics of potash deposits both in China and abroad, the authors have summarized the characteristics of China's continental and marine saline basins and salt- and potash-forming characteristics in these basins, i.e. multiple phases of salt formation, difference in salt-forming ages, migration of salt-forming processes, diversity of component materials, as well as changes of saline basins in the late stage and presence of many liquid mineral deposits; redefined 3 salt minerogenetic domains and 1 salt minerogenetic belt; put forward China's potash exploration strategy—taking marine evaporite basins as the main direction for potash exploration while exploring continental saline lakes and subsurface potash-bearing brine; proposed the new idea that China's main ancient saline basins mostly occur in “quasi-cratons (continental blocks)” and especially all the marine saline basins occur in continental blocks with the Precambrian basement, as well as the new idea that potash salts were deposited in relatively active quasi-stable areas in a

本文由中国地质调查局项目“钾盐资源调查评价”计划项目(包括工作项目“我国重点成盐盆地钾盐资源综合预测与靶区优选”(编号: 1212010918025)等 10 个工作项目)、973 计划(编号: 2011CB403000)和 NSFC-云南联合基金项目(编号: U0833601)联合资助。获中国地质科学院 2011 年度十大科技进展第三名。

收稿日期: 2012-03-27; 改回日期: 2012-04-06。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 郑绵平, 男, 1934 年生。研究员, 中国工程院院士。主要从事盐湖学与盐类矿床地质学研究。E-mail: zhengmp2010@126.com。

tectonically stable region and concentrated in relatively stable areas in a tectonically quasi-stable region; and developed the theory on potash exploration suited to the geological characteristics of China and thus effectively pushed forward simultaneous exploration of oil and potash. In addition, the authors also found several potash showings in Mid-Upper Jurassic strata in the southwestern Yunnan-northern Qiangtang area and particularly directed and arranged potash exploration in the Jurassic at depths of southwestern Yunnan and made unconventional progress; further narrowed the ring of potash exploration in the Ordovician of northern Shaanxi; led the implementation of “simultaneous exploration of oil and potash”; achieved major substantive progress in potash exploration in the Paleogene of the Kuqa subbasin of the Tarim basin; found a new Early Quaternary potash-rich horizon in the western Tarim basin; directed and made important progress in comprehensive surveys and assessments of minerals such as lithium and potash in special saline lakes on the Qinghai-Tibet Plateau; and discovered a group of large and medium-sized lithium- and potash-bearing salt lakes (particularly the large Dogai Coring lithium-boron (potash) salt lake) and made new progress in total-use technology.

**Key words:** salt-forming basin; salt- and potash-forming characteristics; salt minerogenetic domain; tectonic basement-controlled potash formation; new clue to potash finding

钾盐主要用于作钾肥，钾肥是农业三大肥料之一，中国是一个拥有 13 多亿人口的农业大国。中国耕地资源紧缺，为了保证粮食安全和对农产品需求而需要不断增加作物产量，形成了中国特有的化肥高量投入的耕作体系(郑绵平等, 2010)。

根据国际肥料工业协会(IFA)统计数据，折合成氧化钾，全球钾肥消费量总体呈现上升的趋势。从 1999 年至 2008 年年均增长率在 3.1%，而增长的大部分区域在亚洲地区，且以印度和中国增速较为明显。中国钾肥消费量年均增速在 8.6%左右，由 1999 年的 339 万吨增加到 2007 年的 831 万吨。

世界钾盐资源丰富，据美国地质调查局统计

(2011 年)，已探明剩余可采储量 95 亿吨(K<sub>2</sub>O)、产量 3700 万吨(K<sub>2</sub>O)(U.S. Geological Survey, 2012)(表 1)，世界钾盐储量基础约为 180 亿吨，远景资源总量达 2500 亿吨。但资源和产量集中在少数国家，如加拿大、俄罗斯、白俄罗斯、德国，以及以色列和约旦生产商，掌握了世界约 91.4%钾盐产量(表 1)；而中国的探明储量不多，约占世界的 2.2%。

为此，必须加强在中国古今盐盆地找钾研究与勘查，重点要开展海相盐盆地找钾和油钾兼探，并兼顾陆相盐湖及地下卤水(郑绵平等, 1999)。中国对钾的需求量大，只有在中国海相地层中找钾取得重大突破，才可从根本上解决中国钾盐自给的问题。

表 1 世界钾盐(K<sub>2</sub>O 当量)矿山产量和储量  
Table 1 World mine production and reserves of potash salt (K<sub>2</sub>O equivalent)

	矿山产量/千吨					储量/千吨
	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 <sup>e</sup> 年	
美 国	100*	100*	700*	930*	1,100*	130,000
白俄罗斯	4,970	4,970	2,490	5,250	5,500	750,000
巴 西	405	471	385	453	400	300,000
加拿大	11,100	10,500	4,320	9,788	11,200	4,400,000
智 利	500	559	692	800	800	130,000
中 国	2,000	2,750	3,000	3,200	3,200	210,000
德国	3,600	3,280	1,800	3,000	3,300	150,000
以色列	2,200	2,300	2,100	1,960	2,000	40,000#
约旦	1,090	1,220	683	1,200	1,400	40,000#
俄罗斯	6,600	6,730	3,730	6,280	7,400	3,300,000
西班牙	580	435	435	415	420	20,000
英国	427	427	427	427	430	22,000
其他国家	—	—	—	—	—	50,000
世界总计 (四舍五入)	34,600	35,000	20,800	33,700	37,000	9,500,000

注：—：0；e：估计；\*：为避免透露公司独有的资料四舍五入到十万吨以内；#：死海的储量和储量基础任意在以色列和约旦间平分。

由于地球的海水数量巨大、含钾量丰富并且稳定,业已发现的海相钾盐矿床规模巨大且质量优良。在特定条件下,大陆水形成的陆相盐盆地也可形成钾盐矿床。如中国察尔汗、罗布泊现代盐湖钾矿床,与海相相比,其规模要小得多,而且主要为液相钾矿床,其固相含钾品位则较低。无论海相还是陆相,钾盐均是在海水或湖水蒸发到末期才能大量沉积。以海水蒸发为例:在海水蒸发至12%~13%盐度时开始沉积石膏,当海水蒸发至27.5%后开始大量沉积石盐,最后在海水蒸发到33%以后才沉积高溶解度的钾盐,亦即相当于形成盐系的原始海水体积的1%~1.5%才富集饱含钾盐的卤水。因此,通常钾盐矿床沉积于厚层岩盐之上部,钾盐沉积的体积只有石盐体积的十分之几至几十分之一。在有利的构造条件下(克拉通内的台地拗陷、大陆被动边缘、地堑带、裂谷-堑沟等),在其盐盆地的局部洼地或次盆地中大量富集成钾,只有在少数情况下,主要由于构造活动或水文地质环境变化,钾盐层沉积于石盐泥砾(如云南勐野井)中或含钾卤水赋于石盐和钙芒硝晶间的卤水中(如罗布泊)。

通过组织我国相关科研单位开展的新一轮全国钾盐找矿工作,对比研究国内外钾盐矿床成钾特征,本文总结出了我国海、陆相成盐盆地和成盐成钾特性,厘定了3个盐类成矿域和1个成矿带,提出了钾盐类沉积于构造稳定区中相对活动的亚稳定区和在构造亚稳定区相对稳定区的新认识,有效指导了钾盐找矿实践,在滇西、陕北和库车找钾工作中取得了显著进展,为我国找钾工作取得重大突破奠定了初步基础。

## 1 我国成盐地质构造背景

### 1.1 中国成盐成钾地质构造背景

中国的国土是由若干小陆块(克拉通)、微陆块和造山带拼合而成的,既可与其他大陆对比,又具有其特殊性,特别是中国的前寒武纪陆块较北美、西伯利亚等盛产巨型钾盐盆地的克拉通少得多,克拉通化时间也稍晚,实为活动带中的大型中间地块形成的“准地台”,故受周缘造山带活动较强烈的影响;而造山带又常叠加在中间地块上或卷入微陆块,因此,中国的地槽活动性相对较弱。以上是导致中国海、陆相盐盆地成矿构造环境和成盐成钾的某些特殊性(个性):成盐多期性与成盐时代差异性,成盐迁聚性、物质成分多样性;液态矿多、海相盐盆地规模较小;海陆相盐盆地后期变动较大等的基本地质原因(郑绵平等,2010)。

中国前寒武纪地壳主要发育有华北、塔里木和扬子三个小型陆块(准地台、克拉通),还有发育前寒武纪基底的印支—南海陆块(任纪舜,2002),而且有部分是微陆块卷入显生宙造山带中,其中如分布于特提斯构造域中的羌塘、昌都、巴塘、临沧—思茅等微陆块。

同国外绝大多数古代海相钾盐盆地一样,我国重要的古代盐盆地,特别是海相盐盆地均发育于上述前寒武纪为基底的陆块和原地台的构造区域。值得强调的是,我国多期叠合结构的盐沉积多在较稳定的陆核中最为发育(图1)。如扬子三叠纪蒸发盆地,最终盐盆地即坐落在四川盆地构造稳定区,与王鸿桢厘定的川西—川中陆核基底不谋而合(王鸿桢等,2005; Wang, 2005)。而且,在该区还发育晚震旦世和寒武纪厚层膏盐沉积;陕北早奥陶世盐盆地的分布也与鄂尔多斯陆核几乎重叠。产于我国特提斯带的成盐盆地,也都发育于有大量微陆块;而与国际大型成盐成钾盆地相比较,如著名的加拿大萨斯克彻温中泥盆统钾盐盆地,发育于地盾和地槽之间的地台区是最稳定的地盾南侧亚稳定构造区(Bear, 1973)。又如,白俄罗斯彼里亚特(Припятский)上泥盆统钾盐盆地,则是产于乌克兰地盾和白俄罗斯地块之间的大型地堑中,都是产于稳定构造区相对活动的亚稳定区(Раевский, 1973)。研究表明,较有利于钾盆地形成的地质构造背景是:在构造稳定区是在相对活动的亚稳定区;在构造亚稳定区则位于相对稳定区(基底为地核或原地台)。

### 1.2 中国成盐时代

中国是世界上成盐时代较早和较多的国家之一。自古元古代始,已发现有硼酸盐和石膏沉积(辽宁凤城二台子宽甸群上部砖庙组沉积变质型硼镁石矿层区中夹石膏层);在中元古代长城组高于庄组也产出海相沉积型锰方硼石矿床(郑绵平,1994;郑绵平等,2008);由晚震旦世(灯影组)、早中寒武世、早中奥陶世(马家沟组)、早石炭世、三叠纪、侏罗纪、白垩纪、古近纪、新近纪到第四纪均有石盐沉积(表2)。其中还有一些含盐层位赋有富钾卤水和薄层钾矿层/钾矿物(郑绵平等,2006)(见表2)。

## 2 我国盐类成矿域(带)的划分

本文所称的构造域是依照任纪舜等(1999)提出的“是指在统一的全球动力学体系下形成的全球性构造区”。若按陈毓川成矿域乃指全球性成矿区(带)及成矿域应大致等同构造域的认识(陈毓川等,2007),可将我国蒸发岩划分为(I)华北盐类成矿域;(II)扬子

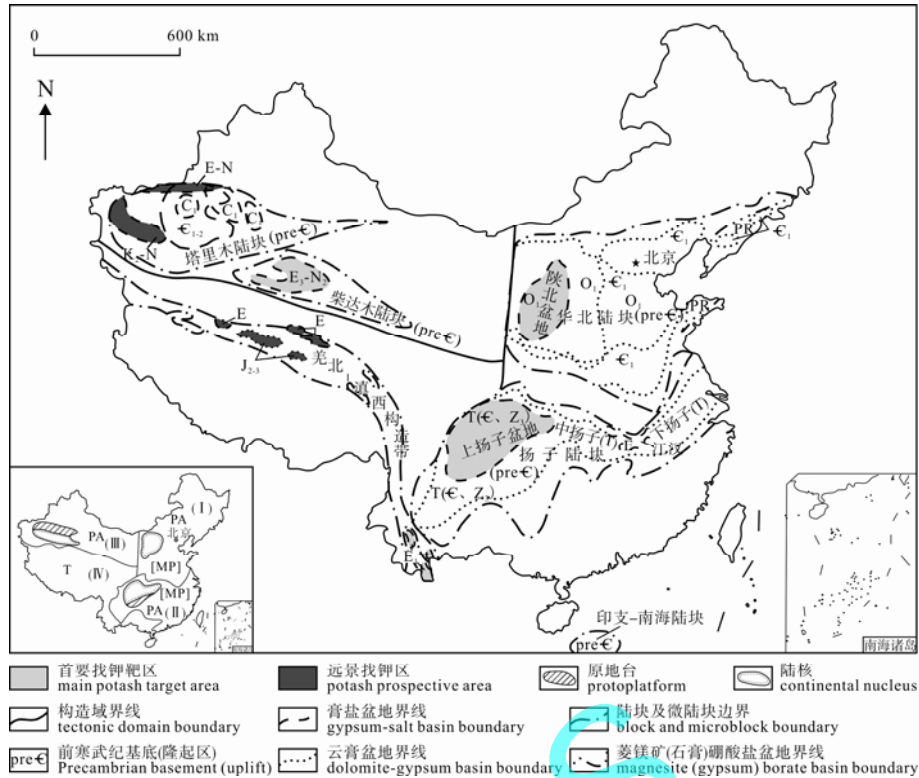


图1 中国构造域和主要古蒸发岩盆地分布略图(构造划分据王鸿桢等, 1996)  
Fig. 1 Distribution of tectonic domains and major ancient evaporite basins in China (tectonic divisions after WANG Hong-zhen et al., 1996)

E-N-古近系-新近系; E-古近系; E<sub>1</sub>-古新统; K<sub>2</sub>-N-上白垩-新近系; J<sub>2-3</sub>-中上侏罗统; T(ε, Z<sub>3</sub>)-三叠系(含寒武系、晚震旦统); C<sub>1</sub>-下石炭统; O<sub>1</sub>-下奥陶统; ε<sub>1-2</sub>-中下寒武统; ε<sub>1</sub>-下寒武统; PR-元古界; PA-古亚洲构造域; T-特提斯构造域; (MP)-滨太平洋构造域; (I)-华北盐类成矿域; (II)-扬子盐类成矿域; (III)-塔(里木)-柴(达木)盐类成矿域; (IV)-羌北-滇西盐类成矿带  
E-N-Paleogene-Neogene; E-Paleogene; E<sub>1</sub>-Paleocene; K<sub>2</sub>-N-Upper Cretaceous-Neogene; J<sub>2-3</sub>-Middle-Upper Jurassic; T(ε, Z<sub>3</sub>)-Triassic (including Cambrian and Upper Sinian); C<sub>1</sub>-Lower Carboniferous; O<sub>1</sub>-Lower Ordovician; ε<sub>1-2</sub>-Middle-Lower Cambrian; ε<sub>1</sub>-Lower Cambrian; PR-Proterozoic; PA-Paleo-Asian tectonic domain; T-Tethys tectonic domain; (MP)-Peri-Pacific tectonic domain; (I)-North China salt minerogenetic domain; (II)-Yangtze salt minerogenetic domain; (III)-Tarim-Qaidam salt minerogenetic domain; (IV)-Northern Qiangtang-Western Yunnan salt minerogenetic domain

盐类成矿域; (III)塔(里木)-柴(达木)盐类成矿域和 (IV)羌北-滇西盐类成矿带(图1)。

## 2.1 华北盐类成矿域

华北陆块是太古宙末期形成的克拉通(张秋生, 1988), 是我国最早发现海相蒸发岩沉积的陆块。该陆块基底由太古宙和早元古代不同变质程度的变质岩系组成。盖层属于海相沉积为中、新元古代海相碎屑岩-碳酸盐岩, 寒武纪-中奥陶世碳酸盐等。该蒸发岩类主要分布于辽吉-冀北, 构成中国最古老的蒸发岩盆地, 尽管后期大部分经过变质改造。

在华北陆块中东部还广泛发育下寒武纪白云岩-石膏蒸发岩系, 构成面积约60万 km<sup>2</sup>碳酸盐蒸发台地, 该下寒武统赋有三个层位石膏和硬石膏层(刘群等, 1997); 华北陆块西部鄂尔多斯(陕甘宁)盆地的中下奥陶统, 是该陆块最新的海相蒸发岩系。

## 2.2 扬子盐类成矿域

扬子陆块形成于晋宁运动(1000~750 Ma), 经历四堡和晋宁两次固结, 其基底由早、中元古界组成, 震旦纪至志留纪为海相碳酸盐岩和碎屑岩, 泥盆纪-中三叠世为海相碳酸盐岩、碎屑岩; 白垩纪-古近纪为陆相暗色碎屑岩系, 红色碎屑岩和含膏岩系。

在扬子陆块发育有海相晚震旦世、寒武纪、石炭纪、泥盆纪、三叠纪和陆相晚白垩世6个时代蒸发岩层。以三叠系和寒武系盐膏沉积较大, 尤以三叠系盐膏沉积规模最大, 属古特提斯海域, 分布面积约达34×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。从扬子区盐类成矿特点出发, 将本区划分下扬子盐类成盐预备盆地、中扬子盐类成盐预备盆地, 以及上扬子成盐(钾)盆地(形成较封闭盆地)。其次为中扬子区寒武系, 其盐膏盆地分布面积约20万 km<sup>2</sup>, 川南(江津-泸州)盐层厚达690 m,





武纪、石炭纪、二叠纪、白垩纪、古近纪、新近纪、第四纪均有膏盐沉积; 泥盆纪、侏罗纪有石膏沉积, 是我国较大的、相对稳定的克拉通。近期石油勘探部门, 在塔里木克拉通内拗陷盆地发现大面积厚层膏盐沉积。在塔里木西部中下寒武纪膏盐盆地分布面积大于 20 万 km<sup>2</sup>, 膏盐层最大厚度 1400 余 m, 其层主要赋于中寒武纪, 但埋藏较深。

我国西部晚白垩—第三纪特提斯海, 最后由塔西经多期海侵海退, 沉积多组含盐岩系, 是塔里木盆地另一个重要成盐找钾层位, 是我国唯一属于晚白垩—第三纪海相蒸发岩系。库车—一带形成总面积约 2 万 km<sup>2</sup> 以上的多级成盐盆地, 在盆地边缘地带其盐丘现出露地表, 最近发现深部钾盐矿化层。莎车盆地与上白垩统一古近系含盐岩系多深埋地下, 深者达 2000~5000 m 以上, 但在英吉沙一带由于局部隆起埋深较浅, 见有白垩—古近系盐层出露, 此外, 该区还赋存卤水层, 值得引起注意。

柴达木盐类成矿亚域: 柴达木陆块基底主要由浅变质的古元古界沉积(中西部)和古元古界结晶岩系(中部)构成, 而在其东部则由石炭系和上泥盆—石炭系浅变质碳酸盐构成(翟光明等, 2002)。该区大部盖层从震旦纪—三叠纪均为海相沉积, 三叠纪以后则为陆相沉积。据柴达木与塔里木基底及其下部盖层震旦—古生代地层可以对比, 以及阿尔金山上有中生界及第三系和下中更新统均可与柴达木盆地对比, 朱允铸等认为柴达木盆地不是印支运动由地块断陷而成的盆地, 推论柴达木与塔里木在古生代两者原为同一拗陷区(朱允铸等, 1994)。柴达木盆地已知蒸发盆地为陆相第三系和第四系。古代蒸发盆地第三系膏盐发现于柴达木西部, 恰与基底为古元古界变质岩相对应。

#### 2.4 羌北—滇西盐类成矿带

本成矿带隶属特提斯构造域东部, 大致相当于黄汲清等划分的特提斯东部的中央部位(黄汲清等, 1987); 与徐志刚划分的喀喇昆仑—二江造山系位置相当(陈毓川等, 2007)。该带多属于扬子板块的构造组分, 中间有昌都、临沧、巴塘和羌塘等微陆块分布, 相对周边造山带较为稳定。

该带从侏罗纪以来, 特提斯是在逐渐关闭的过程中, 形成了局限海, 并在中晚侏罗世、第三纪初期多期处于炎热干旱气候环境。特别是中晚侏罗世, 多位于赤道以北低纬度区, 形成有利于成盐成钾的古地理古气候环境。而循新特提斯带, 在滇西—羌塘盆地西部有晚侏罗世和古近纪—新近纪含钾盐盆地发育, 同时也是全球最主要的油气集中区: 在中

亚—地中海地区, 在阿富汗见有早白垩世钾矿化盐盆地, 在土库曼—乌兹别克斯坦已发现晚侏罗世巨型钾盐矿床(钱自强等, 1994), 继续往西在墨西哥也发现侏罗纪钾矿床(图 2); 东特提斯北支, 由塔里木西部新近纪、古近纪盐盆地往西, 新近纪、古近纪钾盐沉积规模最大是中新统, 包括乌克兰东喀尔巴阡、伊朗、意大利西西里岛、埃及苏伊士湾。在早渐新世, 在地中海西北莱茵地堑(德国、法国)和西班牙早渐新世盐盆地也有数亿吨级钾盐发现; 而在东特提斯滇西南部则发现老挝、泰国“古新世”呵叻盆地巨型钾盐堆积。

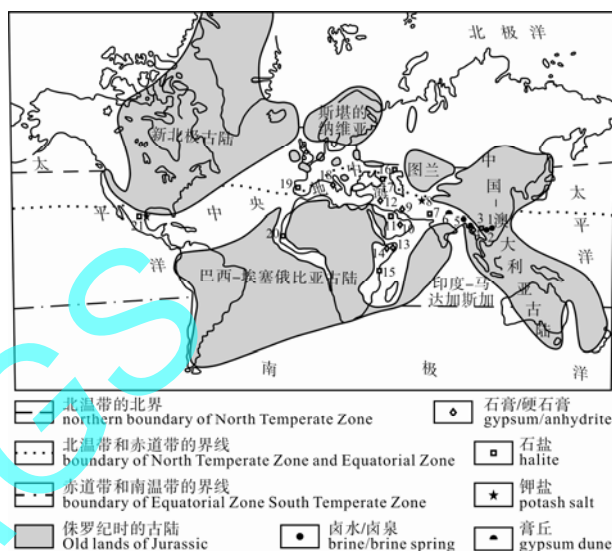


图 2 侏罗纪中央地中海古地理与蒸发岩分布示意图 (古陆及概略气候带引自 Şengör, 1984; 潘桂棠等, 1997; 据新近资料对其边界略作修改, 本文增加蒸发岩分布)  
Fig. 2 Paleogeography and evaporite distribution of the Jurassic Central Mediterranean Sea

(major old land swarms cited from Şengör, 1984; PAN Gui-tang, 1997; their boundaries modified slightly after the latest data; in this paper evaporite distribution is added)

- 1-中国湖北利川盐泉; 2-中国四川盆地卤水; 3-中国滇中安宁石盐、钙芒硝; 4-中国滇西(德钦—永平)石膏、盐泉; 5-昌都石膏、盐泉; 6-中国羌北向阳湖—雁石坪膏丘; 7-塔吉克—阿富汗盐; 8-土库曼—乌兹别克斯坦(卡拉库姆)钾盐; 9-伊朗东波斯湾石膏; 10-卡塔尔—科威特石膏; 11-沙特阿拉伯石盐、硬石膏; 12-伊拉克石膏; 13-索马里石膏; 14-埃塞俄比亚石膏; 15-坦桑尼亚石盐; 16-滨里海石盐; 17-北高加索石盐; 18-意大利石膏; 19-葡萄牙石盐; 20-毛里塔尼亚石盐; 21-墨西哥圣路易波多西石盐、钾盐
- 1-Lichuan salt spring, Hubei, China; 2-Sichuan basin brine, China; 3-central Yunnan anninghalite and glauberite, China; 4-western Yunnan(Deqin-Yongping) gypsum and salt spring, China; 5-Qamdo gypsum and salt spring, China; 6-Xiangyang Lake-Yanshiping gypsum dune, northern Qiangtang, China; 7-Tajikistan-Afghanistan halite; 8-Turkmenistan-Uzbekistan (Karakumy) potash salt; 9-East Persian Gulf gypsum, Iran; 10-Qatar-Kuwait gypsum; 11-Saudi Arabia halite and anhydrite; 12-Iraq gypsum; 13-Somali gypsum; 14-Ethiopia gypsum; 15-Tanzania halite; 16-Peri-Caspian Sea halite; 17-North Caucasus halite; 18-Italy gypsum; 19-Portugal halite; 20-Mauritania halite; 21-San Luis Potosi halite and potash salt, Mexico

3 我国钾盐找矿新认识与新进展

50 多年来,通过我国地质工作者与相关科技人员的努力,我国已从无到有,找到了 10 余个钾盐湖矿床和一个“古新世”钾盐矿床,总氯化钾储量近 10 亿吨,尤其是规模较大的察尔汗钾盐湖,已建成为新中国最主要的钾肥基地;与国外钾盐研究相比,中国的钾盐地质研究水平并不算低(乜贞等, 2010),特别是在陆相成钾理论和特种盐湖勘查研究领域有所创新,为盐类地质科学领域做出了重要贡献。然而由于中国成盐条件的特殊性和复杂性和经费等等原因,迄今对于深埋地下的古代盐盆找钾工作程度还很低,在我国海相蒸发岩地层找钾长期未能取得实质性突破,成了地质找矿的“硬骨头”,以致有些人对在我国找钾信心不足,甚至得出找钾无望的看法。但是,近期在地质调查项目和国家自然科学基金委—云南联合基金及科技部“973”项目资助下,通过组织国内优势科技力量,提出了我国找钾策略——以海相蒸发盐盆地为主攻方向、兼探陆相盐湖及含钾地下卤水,编制了全国油钾兼探总体实施方案,有效指导了钾盐找矿实践,并在我国海相钾盐找矿中取得了较大的突破。

3.1 华北盐类成矿域

在鄂尔多斯盆地东部的陕北盐盆是目前我国发现的最大盐盆之一,含盐面积达 5.6 万 km<sup>2</sup>,膏盐层主要发育于马家沟一段、三段、五段,马五段膏盐较为发育,尤以其上部马五-6 亚段石盐单层厚度最

大,由下而上细分为马五-10 亚段—马五-4 亚段,石盐累计厚度 159~200 m,单层厚度可达 12~14 m(表 3)。在中下奥陶统马家沟组沉积时期,属于大型的碳酸盐台地,具有相对封闭的古地理环境;奥陶纪时期华北地块又处于南纬 20°以内的低纬度带,具有干旱的古气候条件。因而在该盆地形成巨大规模的石盐沉积,不仅有很大的经济价值,也为形成钾盐矿床提供了必要条件。笔者等五次赴陕北榆林地区(郑绵平、袁鹤然等, 2010),先后对 2007 年 2008 年完钻的佳一井、绥一井、米探一井、吴堡一井、子洲一井岩心进行野外观察编录及系统采样。并采集米脂钻孔中的卤水。绥一井样品化学分析结果显示, KCl 含量 2.0%~5.74%,已达边界工业品位,镜下见钾石盐、钾铁盐,厚度约 1 m;其中在深度 2503.60 m, KCl 含量达 9.38%,厚度 10 cm,已达工业品位。尤其在吴堡一井岩芯中,已显示含钾高段厚度 1 余 m。并且在该地区盐层中溴氯系数普遍较高,已达到钾盐至光卤石沉积阶段(表 4),如与老挝发现的钾盐矿床和海相石盐溴氯系数对比,也已达钾石盐沉积阶段。这一研究成果对开辟我国海相找钾的新领域,瞄准我国急缺钾盐矿产资源有重要的意义,同时为我国海相地层找钾带来新的找钾线索。

对 2011 年位于陕北盐盆地西部已完钻的镇钾 1 井研究表明,马五 1-5 亚段实际钻遇地层累计厚度为 287.81 m,该段地层出现异常增厚现象;马四段钻遇地层厚度 106.88 m,该段地层出现异常减薄现象。这是迄今陕北盐盆所有钻井中尚未遇见过的情

表 3 陕北奥陶系含盐系及盐组划分  
Table 3 Ordovician salt-bearing sequences and salt groups in northern Shaanxi

地层		含盐系及盐组划分		
组	段	亚段	含盐系(成盐期)	盐组(聚盐期)
峰峰组	马六段			
上马家沟组	马五段 O <sub>1</sub> m <sup>5</sup>	马五 <sup>4</sup>	马五含盐系	IV
		马五 <sup>5</sup>		
		马五 <sup>6</sup>		III
		马五 <sup>7</sup>		
		马五 <sup>8</sup>		II
		马五 <sup>9</sup>		
		马五 <sup>10</sup>		I
下马家沟组	马四段	O <sub>1</sub> m <sup>4</sup>	马三含盐系	
	马三段	O <sub>1</sub> m <sup>3</sup>		IV
	马二段	O <sub>1</sub> m <sup>2</sup>		III
	马一段	O <sub>1</sub> m <sup>1</sup>		I
亮甲山组	O <sub>1</sub> l			
冶里组	O <sub>1</sub> y			



表 4 陕北盐盆最新钻孔与正常海相石盐中 Br 和  $\text{Br} \times 10^3/\text{Cl}$  系数对比表

Table 4 Comparisons of Br contents and  $\text{Br} \times 10^3/\text{Cl}$  coefficients of halite from the latest wells and normal marine halite in the northern Shaanxi salt subbasin

沉积阶段	Br - 含量( $\mu\text{g/g}$ )			$\text{Br} \times 10^3/\text{Cl}$		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
正常海水沉积石盐	189	68		0.37	0.11	
正常海水沉积钾石盐	370	270		0.61	0.45	
正常海水沉积光卤石	630	370		10.39	0.61	
佳一井	400	250	330	0.91	0.40	0.54
绥一井	440	150	310	0.75	0.31	0.51
米探一井	800	180	320	1.36	0.30	0.70
子洲一井	400	100	280	0.87	0.20	0.46
吴堡一井	420	50	220	0.86	0.10	0.41

况, 打破了该盐盆一直以来被视为“平底锅”的认识, 证实了稳定盐盆内局部活动带中有利于成钾的次级盐凹的存在, 这样的地层厚度变化, 对于中国陆块的最稳定构造单元——鄂尔多斯盆地奥陶纪构造-古地理演化与成盐聚钾作用分析, 无疑具有重要的科学研究意义。从岩芯观察和统计情况来看, 马家沟组盐岩累计厚度为 202.76 m, 马五-6 亚段盐岩局部段存在一定的钾盐矿化。同时, 首次发现奥陶系盐下层马二段富含缝洞型孔隙的优质储层, 并钻获上古生界 3 层工业气层, 这起到了“钾气兼探、一举两得”的效果。与此同时, 还在陕北盐盆地东南部部署绥钾 1 井, 于 2011 年底完钻, 发现了厚度较大钾矿化层, 含钾矿化段深度范围 2344.33 ~

2375.16 m, 厚度 30.83 m, KCl 含量在 0.2% ~ 2.37%, 且在厚 0.21 m 段发现有多量钾石盐矿物, 溴氯系数 ( $\text{Br} \times 10^3/\text{Cl}$ ) 达到了钾盐沉积指标(平均 0.549)(张永生等, 2011)。

3.2 扬子盐类成矿域

3.2.1 四川盐盆地

笔者等通过四川油气区及平落坝地区调研和综合分析认为, 四川盆地三叠系蒸发岩沉积系是一种特殊的多级次盆地成钾模式。在空间上, 由下扬子盆地—中扬子盆地—上扬子盆地, 由成盐预备盆地—盐盆的变化(图 3); 在时间上, 由早三叠世—中三叠世安尼期(雷口坡期)—拉丁期(白山期), 有由盆地东、东北往西南迁移的趋势。

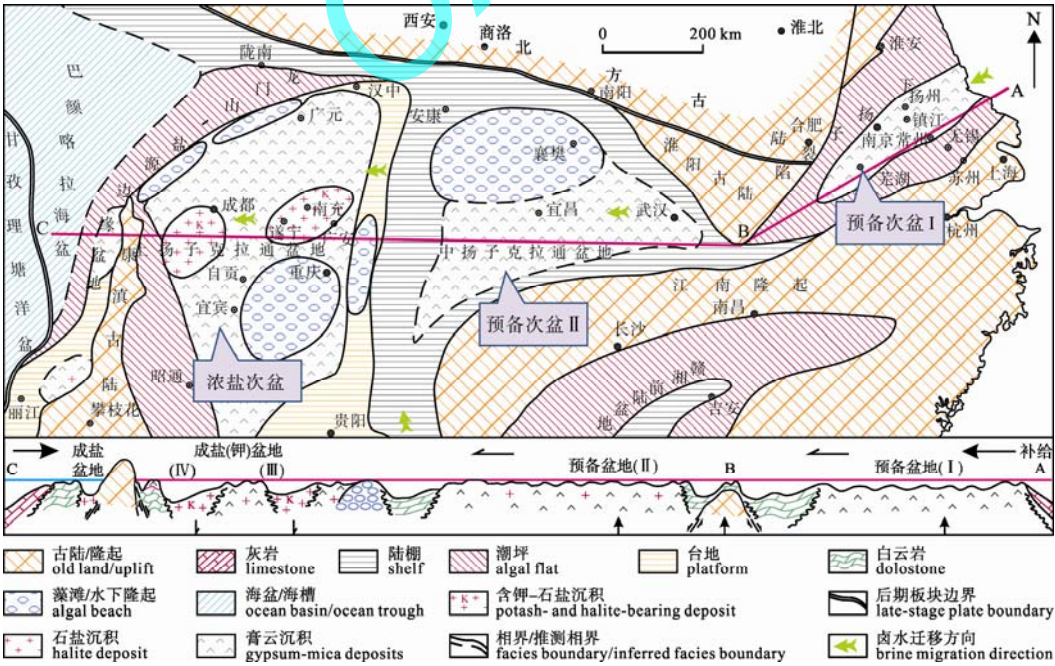


图 3 中三叠世扬子蒸发岩多级次盆地略图(据郑绵平等, 2010; 有补充)

Fig. 3 Sketch map of the Middle Triassic Yangtze evaporite multi-step subbasins (after ZHENG Mian-ping et al., 2010; in this paper brine migration direction is added)



在上扬子盆地三叠纪初期,由于盆地东部(川东)逐渐抬升,盆地盐沉积中心,从嘉陵江组( $T_{1j}$ )至雷口坡组( $T_{2l}$ ),渐由川东(万县—南充次盐盆地)向西南(成都次盐盆地)迁聚,而其盐沉积中心的范围几经变化,也有渐为缩小趋势;中三叠世初始,四川盆地大规模火山喷发凝灰质形成“绿豆岩”,即向盆地汇入大量硼、锂、铷、溴和钾等组分。在重力场作用下,从奥伦期(嘉陵江期)至安尼期(雷口坡期)长达1200万年的蒸发与沉积化学分异作用下,按照多级盐次盆地沉积模式分析,上扬子蒸发盆地易溶性钾及硼、铷、锂、溴、碘必然向低阶次盐盆地汇聚(郑绵平等,1989)。

因此,该区既要重点注意评价富钾综合卤水资源,也要探索川东和川西(如盐源一带)较浅部找钾。看来,四川三叠系富钾卤水的成因既有残存沉积卤水,也有可溶性钾盐溶滤;水分来源既有大量石膏变化硬石膏析放结晶水,也有成盐后的构造运动和地下水的淋滤作用,导致大量钾盐层被淋滤,并与沉积卤水混合成为富钾卤水。据统计,该盆地储卤层分布面积达13万 $\text{km}^2$ ,其中已知储卤构造159个,潜在资源量达1773亿 $\text{m}^3$ ,可采资源量达109亿 $\text{m}^3$ 以上,值得注意是一些储卤层中卤水含K很高,而且富钾卤水分布范围还包括川东北—嘉陵江组(川25井为代表)。特别发现川西平落坝构造特富钾综合性卤水(属于溶滤卤水),其KCl达101.56 g/L,并富含硼和锂、铷、铯、溴、碘。据平落坝构造仅平落4井、平落20井2个钻孔控制的富钾卤水层段,经西南石油局四川省自贡地质工程勘察院初步评价,钾盐已达中型规模,现在鸿丰钾矿肥有限责任公司已着手开采。

笔者据有关参数框算,若全区假定KCl平均品位35.97 g/L计,其静态资源量达63亿吨等。

我们若用新的观念来分析,四川盆地已存在着巨大的潜在钾盐资源,而且是一种独特的钾、锂、铷、硼、碘等综合液体资源,有别于一般的固态钾矿床。如何科学评价和有效地开发,对于中国地质、化工、开采和产业界,既是一个绝好的机会,也是一个巨大的挑战。

上扬子震旦—寒武纪石盐层埋藏较深,且罕见有规模较大的高浓度卤水层,目前难以作为主要研究对象,宜作为“油钾兼探”开展预研究,以积累找钾基本资料。

### 3.2.2 江陵盐盆地

关于江汉盐盆古近纪钾盐远景,由于潜江凹陷

为继承性凹陷,钾芒硝层深埋地下(2300~2800 m),钾芒硝和无水钾镁矾属溶解度较低的硫酸钾复盐,且厚度仅1 m,目前无开采价值。但江陵凹陷古新统赋有高钾卤水,达工业品位,其规模和远景值得进一步调查,在本计划项目下“江陵古近纪盐盆地富钾卤水调查评价”工作项目及锦辉控股股份有限公司的资助下,取得了较大进展(刘成林等,2011)。其中,2010年开钻的岗钾1井在深3571 m的目的层处,钻遇高温高压高盐度富钾卤水,日产可达4320  $\text{m}^3$ ,属高产井,KCl含量平均1.64%。

### 3.3 塔里木—柴达木盐类成矿域

#### 3.3.1 塔里木盐盆地

塔里木盆地的各时代海相盐沉积多深埋地下,寒武纪和石炭纪膏盐层分别深达4000~10000 m和2000~5000 m以上,只在山前偶见含石膏层出露。目前这两时代的膏盐沉积工作程度依然很低。今后须密切结合找油勘查,通过油钾兼探进行找钾研究。

以往塔里木晚白垩世—第三纪膏盐岩系的找钾工作多限于地表地质工作,仅有少量油井资料可供参考(刘群等,1987),尚缺乏可靠成钾标志。随着近期油气勘查工作进展,在库车盆地已作了大量地球物理工作,一些石油气勘探井也钻遇膏盐层,主要发育于上白垩统一古近系。

在我国西部晚白垩世—第三纪特提斯,最后由塔里木西部多期海侵、海退过程中,形成了库车一带总面积在2万 $\text{km}^2$ 以上的多级成盐盆地。古近纪第一成盐旋回与海水有关,是海陆交互相沉积;第二成盐旋回,形成古近纪第二个成盐高潮,堆积了厚层、质量较好的石盐岩,这也是盆地中部和南部最主要的成盐期。

古近系从古新统至渐新统全部地层总厚度约2600 m,其中含盐层厚约1600 m,石盐岩分布总面积达1万 $\text{km}^2$ ,石盐单层厚394 m;羊塔4井,在深度5090~5192 m处发现KCl含量达到2%~13%之间,其中8 m厚KCl平均含量12%;经鉴定含钾矿物为钾石盐,实现该地区找钾的重大实质性进展(邓小林等,2011)。

#### 3.3.2 柴达木深部钾盐综合资源

柴达木盆地第三系始新统(下干柴沟组)发现膏盐和钙芒硝沉积(杨藩等,1994),在狮子沟已钻遇岩盐面积约150  $\text{km}^2$ ,含盐系厚度663 m至大于966 m,单井石盐累计最大厚度274.8 m,石盐单层最大厚度34 m,但可惜缺乏化学分析资料,往上至上干柴沟

组下段仍见有较多膏盐和芒硝，该下段均属始新世晚期(杨藩等, 1994)。盆地中新世—上新世早期未见膏盐沉积，但赋有卤水层，矿化度 35~290 g/L。上新世晚期即有大量岩盐发现，分布较广。以大浪滩盐系发育最好，由上新统一第四系，含石盐层 189 层，总厚度 245.73 m，其层次多，单层厚度较小，但有向剖面上部盐层厚度增大趋势，至上部已发现钾石盐和光卤石矿物。特别在该层中发现丰富的钾硼锂综合性卤水。南翼山构造深部富钾卤水研究较详，该构造含卤水层达 30 多层，付建龙将其划分为 3 个含卤水岩组，并将含卤水组划分与地层单元作了对比(表 5)，含卤水组的主要有用组分 KCl 等，有由上往下增高的趋势(表 6)。

近期调查分析结果还显示，油墩子 5 件水样中 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 930.9~997 mg/L(达到边界品位)，NaCl 含量为 9.63%~9.76%(达到工业品位)；小梁山 1 件水样中 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 2663 mg/L(达到工业品位)，NaCl 含量为 5.2%(达到边界品位)；南翼山 13 井和南 ZK01 井样品中 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量分别为 1947 mg/L 和 2626 mg/L(达到了工业品位)，Li 为 146 mg/L 和 198 mg/L(达到边界品位)，NaCl 含量分别为 7.8%和 8.1%(达到边界品位)，近期在南翼山采的 10 个井的样品中，KCl 含量为 0.47%~0.67%。由此说明，富含深层构造裂隙-孔隙型卤水的背斜构造区，南翼山是 K、B、Li 的富集区；小梁山背斜和油墩子背斜是硼的富集区(李洪普等, 2011)。

同时，在盆地边缘的底部地带局部分布粒度较粗的下第四系(Q<sup>1-2</sup>)砂砾石层，其时代属早更新世(图 4)，为孔隙卤水含水层，厚度达数百米，KCl 含量在 0.3%~2%之间，具有较好的找矿前景。2011 年完钻的黑 ZK01 孔，发现早更新世晶间卤水和砂砾层孔隙富钾卤水两层。受阿尔金山前凹陷控制，黑 ZK01 孔在原资源评价范围的基础上向东扩展了 28 km，为该区资源量估算拓展了新区，尤其是砂卵石层孔隙卤水的发现，对本区是一富钾卤水找矿新的领域。

3.4 羌北—滇西盐类成矿带

羌北—滇西特提斯成盐区隶属特提斯中晚侏罗世—古近纪局限海区，已发现大量中侏罗世膏丘和盐泉及古近纪盐丘群，在可可西里风火山一带还发育一系列古近纪盐丘群，最近笔者等还在其西部阿里北部发现古近纪盐丘，且我中心刘喜方等还在附近发现多处侏罗系盐溶地貌和盐泉带，盐泉水经分析其钾及钾盐、钾氯系数，达到硫酸镁盐沉积、接近钾盐沉积指标(表 7)。由羌北往东南至滇西南早有多处侏罗系石膏和盐泉发现。在本成盐区西面有中亚中上侏罗纪数百亿吨钾盐沉积；在羌北东南面，在滇西南已找到“古近纪”勐野井小型钾盐矿，往南至老挝—泰国“晚白垩—古近纪”巨型钾盐矿床。

由于羌北(含风火山地区)属高寒地区，宜结合油气普查和盐湖综合考察进行，而滇西南地质工作基础和工作条件较好，是值得首先解剖的找钾地区。

表 5 含水岩组划分与地层对应关系表

Table 5 Division of water-bearing formation and its relationship with strata

地层时代			含水岩组划分	
统	组	代号	含水岩组	代号
上新统	狮子沟组	N <sub>2s</sub>	上油砂山含水岩组	N <sub>2</sub>
	上油砂山组	N <sub>2y</sub>		
中新统	下油砂山组	N <sub>1y</sub>	下油砂山含水岩组	N <sub>1</sub>
	上干柴沟组	N <sub>1g</sub>		
渐新统	下干柴沟组	E <sub>3g</sub>	干柴含水岩组	E <sub>3g</sub>
	路乐河组	E <sub>1+2</sub>		

表 6 南翼山含水层(组)中主要液体卤水矿平均品位(据付建龙, 2011)

Table 6 Average grade of liquid brine mine in water-bearing formation of Nanyishan (after FU Jian-long, 2011)

含水层组	含水组 编号	块段平均品位/(mg/L)						埋深/m
		KCl	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LiCl	I <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	CS <sub>2</sub> O	
上油砂组	N <sub>2</sub>	8402.2	2502.4	1996.9	33.3	54.23	13.997	95~1500
下油砂山组	N <sub>1</sub>	8748.0	2246.2	1305.6	31.04	46	9.835	1416~2461
干柴沟组	E <sub>3g</sub>	12815.0	2557.5	2557.5	35.25	54.25	38.5	2950~4689

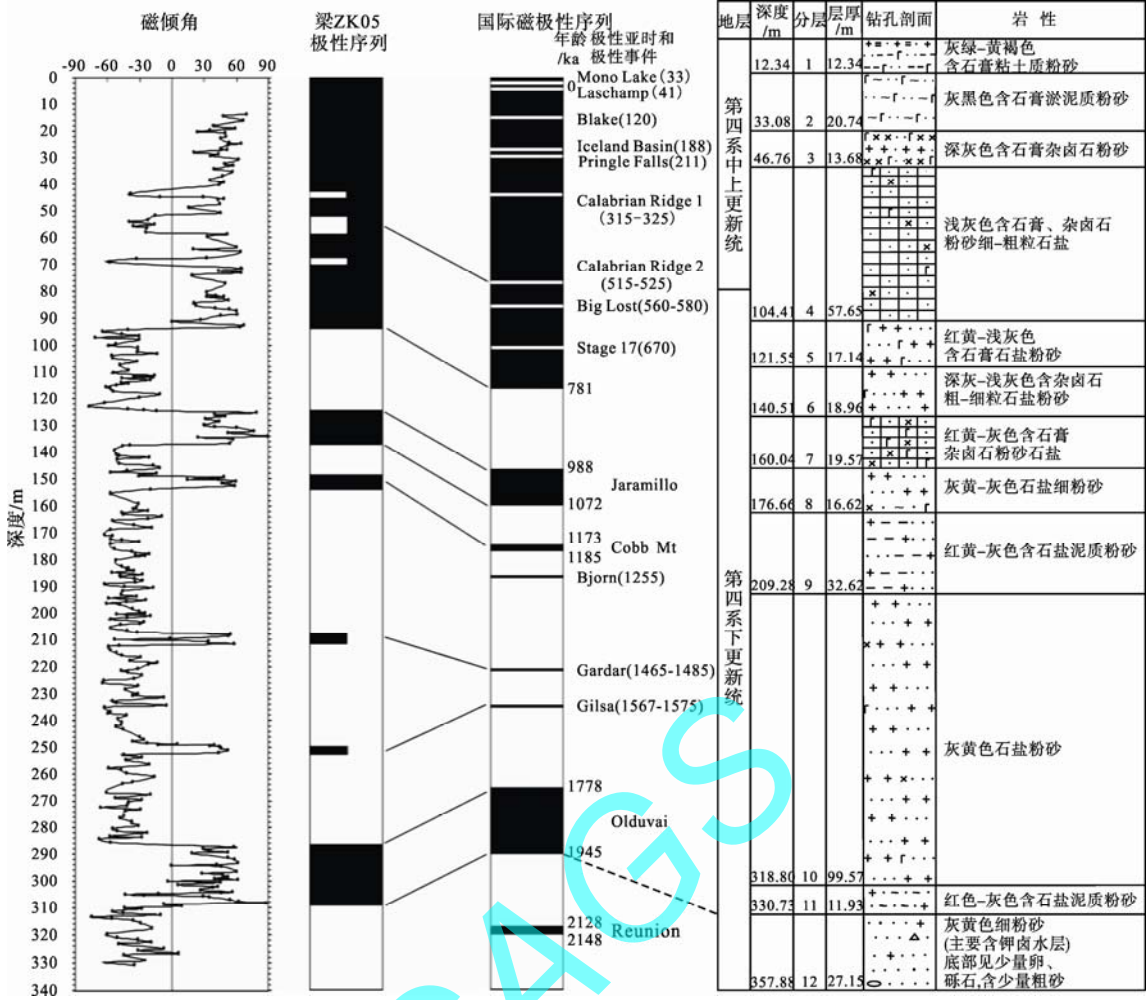


图 4 柴达木盆地大浪滩梁 ZK05 钻孔磁倾角曲线以及磁性序列和国际磁极性序列的对比 (据施林峰等, 2010; 侯献华、李洪普补充剖面图)

Fig. 4 Matching the inclination profiles for Liang ZK05 borehole in Dalangtan of Qaidam Basin to the geomagnetic polarity scale and correlating the magnetic polarity stratigraphy with the Geomagnetic Polarity Time Scale (after SHI Lin-feng et al., 2010; section supplemented after HOU Xian-hua and LI Hong-pu)

表 7 羌北侏罗系盐泉水化学参数(据刘喜方, 2010; 陈文西等, 2010)  
Table 7 Chemical parameters of Jurassic salt spring water in northern Qiangtang (after LIU Xi-fang, 2010; CHEN Wen-xi et al., 2010)

地区	矿化度/(mg/L)	K <sup>+</sup> /(mg/L)	Cl <sup>-</sup> /(mg/L)	K×10 <sup>3</sup> /Cl	K×10 <sup>3</sup> /盐
羌北盐泉	27204.78	784	15667	50.04	40.66
海水硫酸镁盐沉积				75.5	36.9
钾石盐沉积				87.5	50.6

3.4.1 滇西南盐盆地

通过项目组近几年多次对勐野井矿山调查和盐构造分析, 提出可能符合滇西南找钾的新认识: 推断其钾盐层是由深部挤压塑流到表层来的, 可能有钾盐层被覆盖于其他地层之下。

在滇西南勐野井地区, 其地层主要以砂、泥岩为主的碎屑岩层, 各地层不同岩性在电性方面存在一定差异, 因此通过大地调项目开展了 EH-4(低频

大地电磁法)探测。研究表明, 在已评价勐野井钾盐矿区内, 其矿体(钾盐)含盐层位与所测高阻区的顶底深度及展布范围吻合较好, 并推断在电阻率高值的深部地层(可能侏罗系)可能发育有盐类沉积物(因侏罗系已证实无厚层碳酸盐岩沉积物)。此外, 在该区还开展了 MES(高精度电磁频谱探测)探测工作(谭筱虹等, 2011), 其结果表明, 该区泥质粉砂岩、泥岩电阻率值仅在 30 ~ 100 Ω·m 之间, 石英砂岩具有次



高的电阻率 400 ~ 2500 Ω·m, 而含泥砾岩盐最高的电阻率达 1000 ~ 6000 Ω·m, 其值是围岩(粉砂岩、泥岩)的 10 ~ 200 倍。根据勐野井地区已知钻孔钾 1 井的地层资料与 MES 测试结果对比分析, 认为电阻率在 1000 ~ 4000 Ω·m 之间的层段代表了勐野井组中的岩盐层(表 8), 其电阻率值高出该区砂、泥岩 5 ~ 15 倍, 同时在此类高电阻率层下部亦存在高电阻率

层, 电阻率值均高于 4000 Ω·m, 按其地球物理特征, 结合磁场强度显示低异常, 均反映可能是深部地层的岩盐层引起的异常。

同时, 本项目之一(“油钾兼探实施方案和调查评价综合研究”工作项目)尹宏伟等对勐野井矿区井下 20 个具代表性岩盐样品进行了 Sr 同位素(<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) 及 Rb/Sr 含量的分析, 其研究表明勐野井矿区盐体

表 8 兰坪-思茅盆地中生代地层划分表  
Table 8 Stratigraphic division of Mesozoic-Cenozoic of Lanping-Simao basin

磨黑矿区	勐野井矿区	思茅凹陷	思茅凹陷	兰坪凹陷	思茅凹陷	兰坪-思茅盆地
1960—1964年	1963年	1964—1965年	1966—1968年	1966—1971年	1975年	1998年(本文)
K 磨黑组 上段 下段 J砂岩	K 野狼山组 勐野井组 水城组	K 曼宽河组 勐野井组 水城组 奴贵山组 和平乡组 张科寨组	E 曼宽河组 勐野井组 水城组 奴贵山组 和平乡组 张科寨组	E 曼宽河组 勐野井组 水城组 奴贵山组 和平乡组 石钟山组	E <sub>2-3</sub> 勐腊组 等黑组 勐野井组 麻木树组 扒沙河组 曼岗组 景星组 坝注路组 和平乡组 张科寨组 漾江组 含煤组 大平掌组 路马组 威远江组 一碗水组	E <sub>2-3</sub> 勐腊组 等黑组 勐野井组 扒沙河组 曼岗组 景星组 坝注路组 和平乡组 张科寨组 漾江组 含煤组 大平掌组 路马组 威远江组 一碗水组

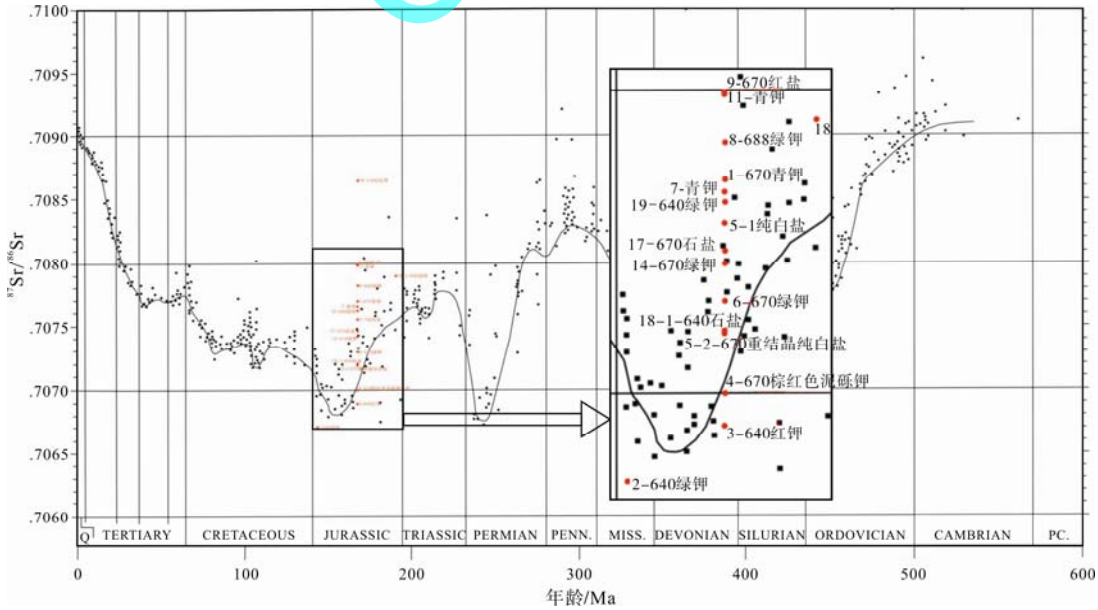


图 5 云南勐野井矿岩盐样品 Sr 特征分析结果图(据尹宏伟, 2011)  
Fig. 5 Analysis result of Sr characteristics of halite samples in the Mengyejing Mine of Yunnan Province (after YIN Hong-wei, 2011)

主要物质来源为海相,成盐年代很可能为侏罗纪(图5),这与此认识亦吻合较好。由此表明在勐野井地区,甚至兰坪—思茅含盐带深部有规模较大的盐类沉积,而有必要通过地质、地球物理以及钻探手段进行调查验证。

因此,向有关部门建议,着手对勐野井外围开展找钾验证,并得到了大力支持。通过公开招标,于2011年在勐野井外围快速部署两个钻孔:MK-1井和MK-2井。目前,两口钻孔正钻进中。

### 3.4.2 西藏钾盐特种盐湖

近期,在西藏自治区那曲地区双湖特别区北部,羌塘高原腹地的多格错仁南部盐泉群取得新发现,其盐泉矿化度最高 205.24 g/L(海水约 35 g/L),K 最高含量达 5410 mg/L(海水约 340 mg/L),钾氯系数较高,为 37.62~86.79,镁氯系数为 0.021~0.081,达到钾盐沉积的水化学指标。附近出露大量侏罗纪石膏丘,推测深部可能有侏罗纪盐类沉积。

最近,通过对西藏钾盐湖调查研究表明,目前已知西藏约 40 个盐湖,KCl 含量达边界品位,估算资源量 10231.74 万吨,其中储量 4936.95 万吨。尤其是新发现和初步查明(2001—2010)的多格错仁钾盐湖综合矿床,面积 475.1 km<sup>2</sup>,按 4000×2000m 网度采样分析,其中,LiCl 平均品位 0.58 g/L,资源量 199.62 万吨;KCl 平均品位 5.94 g/L,资源量 2034.55 万吨;NaCl 平均品位 132.43 g/L,资源量 45333.14 万吨;Rb 平均品位 0.021 g/L,资源量 7.21 万吨;B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 资源量 53 万吨。由此可以看出,多格错仁湖锂硼钾铷综合矿床已达到大型规模。

通过近几年工作,找钾认识和实践都迈出了坚实的一步,在探索适合我国地质特点的找钾理论认识有重要进展;在钾资源找矿上也有实质性的突破。不但富钾卤水资源有新的发现(包括四川、柴达木、江陵、西藏),而且在难度最大的固体钾盐资源也找到了钾盐矿层及其他重大线索。虽然可以认为我国具有较好找钾前提条件,但由于我国地质构造的特殊性,找矿难度很大。50 多年来,在固体钾盐方面尚未取得重大突破,今后还要继续加强适合中国地质实际的成钾理论研究;同时要高度重视,在已有的新认识和发现的基础上,持续投入,做好长期作战的准备,才可能取得重大突破!

致谢:“钾盐资源调查评价”计划项目下设 10 个工作项目,本文仅主要反映其中在近 2 年进展较显著的工作项目的研究成果。这些项目主要研究人员还有中国地质科学院矿产资源研究所陈文西、刘成林、

袁鹤然、侯献华、乜贞及施林峰等,中化地质矿山总局地质研究院邓小林、韦钊等,中国地质科学院地质研究所于常青,云南省地质调查院谭筱虹等,青海省柴达木综合地质矿产勘查院许文鼎、李洪普等,在此一并致谢。

### 参考文献:

- 陈文西,尹海生,郑绵平. 2010. 羌塘盆地钾盐资源远景调查评价[R]. 北京:中国地质科学院.
- 陈毓川,王登红,朱裕生,徐志刚,任纪舜. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价(上册)[M]. 北京:地质出版社.
- 邓小林,赵玉海,韦钊,田升平,黄俭合. 2011. 塔里木白垩—第三纪与石炭纪盐盆地钾盐资源远景调查评价[R]. 涿州:中化地质矿山总局地质研究院.
- 付建龙. 2011. 油田水资源勘查评价与开采技术研究[R]. 西宁:青海省地质调查院.
- 黄汲清,陈炳蔚. 1987. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京:地质出版社.
- 李洪普,毛建业,汪青川,张明珠,许文鼎,任金润,侯献华,张道伟,李元奎,周训. 2011. 柴达木西部新近纪以来固液相钾盐资源调查评价[R]. 格尔木:柴达木综合地质矿产勘查院.
- 刘成林,徐海明,王春连,马黎春,王军. 2011. 江陵古近纪盐盆地富钾卤水调查评价[R]. 北京:中国地质科学院.
- 刘群,陈郁华. 1987. 中国中、新生代陆源碎屑—化学岩型盐类沉积[M]. 北京:北京科学技术出版社.
- 刘群,杜之岳,陈郁华,金若谷,袁鹤然,张峰根,祝有海,陈英华. 1997. 陕北奥陶系和塔里木石炭系钾盐找矿远景[M]. 北京:原子能出版社.
- 刘喜方. 2010. 西藏盐湖锂钾资源调查评价[R]. 北京:中国地质科学院.
- 乜贞,卜令忠,刘建华,王云生,郑绵平. 2010. 我国盐湖钾盐资源现状及提钾工艺技术进展[J]. 地球学报,31(6): 869-874.
- 潘桂棠,陈智梁,李兴振,颜仰基,许效松. 1997. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京:地质出版社.
- 钱自强,曲一华,刘群. 1994. 钾盐矿床[M]. 北京:地质出版社.
- 任纪舜,王作勋,陈炳蔚. 1999. 中国及邻区大地构造图及其说明书[M]. 北京:地质出版社.
- 任纪舜. 2002. 中国及邻区大地构造图[M]. 北京:地质出版社.
- 施林峰,郑绵平,李金锁,王有德,侯献华,马妮娜. 2010. 柴达木盆地大浪滩梁 ZK05 钻孔的磁性地层研究[J]. 地质学报,84(11): 1631-1640.
- 谭筱虹,周仁安,周丹,程胜辉. 2011. 云南省江城县勐野井钾盐矿区高精度电磁频谱探测[R]. 昆明:云南省地质调查院.

- 王鸿桢, 李本培, 李思田. 2005. 中国及邻区大地构造划分和构造发展阶段[C]//王鸿桢文集. 北京: 科学出版社: 359-379.
- 王鸿桢, 莫宣学. 1996. 中国地质构造述要[J]. 中国地质, (8): 4-9.
- 杨藩, 唐文祜, 魏景明, 傅智雁, 梁世君. 1994. 中国油气区第三系(II)[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 尹宏伟. 2011. 构造活动对钾盐分布、聚集的影响: 以滇西南及川西南盐构造为例[R]. 南京: 南京大学.
- 翟光明, 宋建国, 靳久强, 高维亮. 2002. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 张秋生. 1988. 辽东半岛早期地壳与矿床[M]. 北京: 地质出版社.
- 张永生, 樊馥, 龚文强. 2011. 陕北奥陶纪盐盆地钾盐资源调查评价[R]. 北京: 中国地质科学院.
- 郑绵平, 刘喜方, 袁鹤然, 张成君, 王海雷. 2008. 青藏高原第四纪重点湖泊地层序列和湖相沉积若干特点[J]. 地球学报, 29(3): 293-305.
- 郑绵平, 齐文, 张永生. 2006. 中国钾盐地质资源现状与找钾方向初步分析[J]. 地质通报, 25(11): 1239-1246.
- 郑绵平, 向军, 魏新俊, 郑元. 1989. 青藏高原盐湖[M]. 北京: 北京科技出版社.
- 郑绵平, 袁鹤然, 张永生, 刘喜方, 陈文西, 李金锁. 2010. 中国钾盐区域分布与找钾远景[J]. 地质学报, 84(11): 1523-1553.
- 郑绵平. 1994. 海相沉积锰方硼石矿床 - 河北蓟县硼矿床[M]//宋书和. 中国矿床(下册). 北京: 地质出版社: 79-81.
- 郑绵平. 1999. 论盐湖学[J]. 地球学报, 20(4): 395-401.
- 朱允铸, 钟坚华, 李文生. 1994. 柴达木盆地新构造运动及盐湖发展演化[M]. 北京: 地质出版社.
- DENG Xiao-lin, ZHAO Yu-hai, WEI Zhao, TIAN Sheng-ping, HUANG Jian-he. 2011. Investigation and evaluation of potash resources of Cretaceous-Tertiary and Carboniferous in Tarim salt basin[R]. Zhuozhou: Geology Institute of China Chemical Geology and Mining Bureau(in Chinese).
- FU Jian-long. 2011. The exploration and evaluation and the study on the mining technology of oilfield water resource[R]. Xining: Qinghai Institute of Geological Survey(in Chinese).
- HUANG Ji-qing, CHEN Bing-wei. 1987. The evolution of the Tethys of China and its adjacent areas[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LI Hong-pu, MAO Jian-ye, WANG Qing-chuan, ZHANG Ming-zhu, XU Wen-ding, REN Jin-run, HOU Xian-hua, ZHANG Dao-wei, LI Yuan-kui, ZHOU Xun. 2011. Investigation and evaluation of solid-liquid phase potash resources since the Neogene in Western Qaidam basin[R]. Golmud: Integrated Geological Exploration Team of Golmud(in Chinese).
- LIU Cheng-lin, XU Hai-ming, WANG Chun-lian, MA Li-chun, WANG Jun. 2011. Investigation and evaluation of potassium-rich brine of Paleogene in Jiangling salt basin[R]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- LIU Qun, CHEN Yu-hua. 1987. The continental clastic-chemical rock salt deposit of Mesozoic and Cenozoic in China[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Publishing House(in Chinese).
- LIU Qun, DU Zhi-yue, CHEN Yu-hua, JIN Ruo-gu, YUAN He-ran, ZHANG Feng-gen, ZHU You-hai, CHEN Ying-hua. 1997. Potash salt-searching prospects in Northern Shanxi ordovician and Tarim carboniferous[M]. Beijing: Atomic Energy Publishing House(in Chinese).
- LIU Xi-fang. 2010. Investigation and evaluation of lithium and potash resources in saline lake of Tibet[R]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- NIE Zhen, BU Ling-zhong, LIU Jian-hua, WANG Yun-sheng, ZHENG Mian-ping. 2010. Status of Potash Resources in Salt Lakes and Progress in Potash Technologies in China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 31(6): 869-874(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, CHEN Zhi-liang, LI Xing-zhen, YAN Yang-ji, XU Xiao-song. 1997. Eastern Tethyan tectonic evolution[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- QIAN Zi-qiang, QU Yi-hua, LIU Qun. 1994. Potash deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

## References:



- REN Ji-shun, WANG Zuo-xun, CHEN Bing-wei. 1999. Tectonic maps and directions in China and its adjacent areas[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- REN Ji-shun. 2002. Tectonic sketches in China and its adjacent areas[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ŞENGÖR A M C. 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia[M]. Boulder, Colorado: Geological Society of America: 195, xi+82.
- SHI Lin-feng, ZHENG Mian-ping, LI Jin-suo, WANG You-de, HOU Xian-hua, MA Ni-na. 2010. Magnetostratigraphy of Liang ZK05 borehole in Dalangtan, Qaidam Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 84(11): 1631-1640(in Chinese with English abstract).
- TAN Xiao-hong, ZHOU Ren-an, ZHOU Dan, CHENG Sheng-hui. 2011. Detection of high-precision method of electromagnetic frequency spectrum in Mengyejing Potassium salt mining area, Jiangcheng County, Yunnan Province[R]. Kunming: Geological Survey of Yunnan Province(in Chinese).
- U. S. Geological Survey. 2012. Mineral commodity summaries 2012[M/OL]. [2012-01-24]. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf>.
- WANG Hong-zhen, LIU Ben-pei, LI Si-tian. 2005. Tectonic division and development stages in China and its adjacent areas[C]//WANG Hong-zhen Collected Works. Beijing: Science Press, 359-379(in Chinese).
- WANG Hong-zhen, MO Xuan-xue. 1996. Geological structure of China[J]. Chinese Geology, (8): 4-9(in Chinese).
- WANG Hong-zhen. 2005. An outline of the tectonic evolution of China[M]// Selected Works of Wang Hong-zhen. Beijing: Science Press, 394-406.
- YANG Fan, TANG Wen-hu, WEI Jing-ming, FU Zhi-yan, LIANG Shi-jun. 1994. The oil and gas fields of the Tertiary in China(II)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese).
- YIN Hong-wei. 2011. The influence of tectonic activity on the distribution and accumulation of potash resources: an example from the salt structures of Southwest Yunnan and Southwest Sichuan[R]. Nanjing: Nanjing University(in Chinese).
- ZHAI Guang-ming, SONG Jian-guo, JIN Jiu-qiang, GAO Wei-liang. 2002. Plate tectonic evolution and the formation and evaluation of petroliferous basins[M]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese).
- ZHANG Qiu-sheng. 1988. Early crust and deposits in Liaodong Peninsula[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHANG Yong-sheng, FAN Fu, GONG Wen-qiang. 2011. Investigation and evaluation of potash resources of Ordovician in Northern Shanxi salt basin[R]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- ZHENG Mian-ping, LIU Xi-fang, YUAN He-ran, ZHANG Cheng-jun, WANG hai-lei. 2008. Some Characteristics of Stratigraphic Sequences and Lacustrine Sediments of Main Quaternary Lakes on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(3): 293-305(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mian-ping, QI Wen, ZHANG Yong-sheng. 2006. Present situation of potash resources and direction of potash search in China[J]. Geological Bulletin of China, 25(11): 1239-1246(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mian-ping, XIANG Jun, WEI Xin-jun, ZHENG Yuan. 1989. Saline Lakes of Tibetan Plateau[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press(in Chinese).
- ZHENG Mian-ping, YUAN He-ran, ZHANG Yong-sheng, LIU Xi-fang, CHEN Wen-xi, LI Jin-suo. 2010. Regional distribution and prospects of potash in China[J]. Acta Geologica Sinica, 84(11): 1523-1553(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mian-ping. 1994. The chambersite deposits of marine sedimentary-boron deposits in Jixian County of Hebei Province[M]//SONG Shu-he. Mineral deposits of China (Volume Two). Beijing: Geological Publishing House: 79-81(in Chinese).
- ZHENG Mian-ping. 1999. Initial Discussion of Salinology[J]. Acta Geoscientica Sinica, 20(4): 395-401(in Chinese with English abstract).
- ZHU Yun-zhu, ZHONG Jian-hua, LI Wen-sheng. 1994. Neotectonic movement and evolution of Saline Lake of Qaidam Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- РАЕВСКИЙ ЧУ В И ИДР. 1973. Месторождения калийных солей СССР. изд "Недра".