

文章编号: 1009-6248(2008)02-0063-10

塔里木盆地地质环境演化及钾矿寻找研究进展

马万栋^{1,2,3}, 马海州⁴

(1. 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘要: 描述了我国钾盐资源的现状, 总结了世界上大型钾盐矿床的分布和形成规律: 物质基础、地质构造、岩相古地理及气候条件。分析了塔里木盆地的基本概况, 阐述了在晚白垩—古近纪这一历史上重要的成盐期, 塔里木盆地的地质环境演化历史, 分析了塔里木盆地晚白垩纪和古近纪沉积相特点, 确定了塔里木盆地的两个浓缩中心——库车凹陷和塔西南凹陷, 综述了塔里木盆地的地质找钾状况, 为钾盐的找矿工作做了良好的地质铺垫。

关键词: 塔里木盆地; 晚白垩纪; 古近纪; 地质环境演化; 钾盐

中图分类号: P619.21⁺1 **文献标识码:** A

钾是农作物生长的三大要素(氮、磷、钾)之一, 在农业上和工业上的应用十分广泛。世界钾盐资源分布不平衡, 主要在北半球。其中, 加拿大和前苏联分别占世界钾盐总资源量的 40% 和 37%。我国钾盐资源贫乏, 绝大部分分布在青海省柴达木盆地的几个现代盐湖中, 少量分布在云南省江城县勐野井钾盐矿床。我国钾盐资源不仅数量少, 而且品位低。为解决我国钾盐资源的短缺的状况, 解放前我国就开始了钾盐资源的普查工作, 如新疆地质局、德意志民主共和国、西北石油局等, 曾先后对塔里木盆地做了大量的工作, 以期找到钾盐矿, 弥补钾盐资源紧缺的状况。从 20 世纪 50 年代开始到现在, 我国已经发现的钾盐矿主要是在青海的柴达木盆地察尔汗盐湖(张彭熹等, 1993)、新疆塔里木盆地罗布泊、云南勐野、江汉盆地等地区(赵振宏等, 2002; 林耀庭等, 1999; 郑绵平等, 1991), 而对于我国新

近系、古近系广泛发育的新疆塔里木盆地的研究仍处于低潮阶段。

1 世界上大型钾盐矿床的形成规律

钾盐是一种易溶盐, 是卤水沉积演化最后阶段的产物。由于其极易溶解, 一般在地表找不到成矿标志, 所以寻找钾盐矿床的难度极大。世界上大型的钾盐矿床都是在找石油的过程中发现的。对盐类矿床成矿理论的认识仍处于不断完善的阶段, 不同的学者有不同的解释: 主要有蒸发沉积论和盐的内生理论(袁见齐, 1961)。但是鉴于已知的盐类矿床的实际资料和实际的找矿经验, 盐类的蒸发沉积论仍然是大部分地质学者所接受的, 也是在我国找矿工作中所验证了的。众所周知, 盐类矿产的形成严格受构造的控制(关绍曾等, 1996; 李春昱等,

收稿日期: 2008-01-04; 修回日期: 2008-04-01

基金项目: 塔里木盆地西部古盐湖钾盐资源评价研究(2001BA609A-17-16)

作者简介: 马万栋(1977-), 男, 博士研究生, 主要从事环境地球化学及环境遥感方面的工作。通讯地址: 264003, 山东省烟台市莱山区银海路 26 号, 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所。E-mail: mawdcn@Yahoo.com.cn.

1981), 构造运动除控制成盐盆地外, 还控制着盐类矿床的形成和演化、盐类物质的来源以及盐类矿床形成后的保存和破坏。

依据国内外著名的钾盐矿床分析, 它们都是在地壳活动带、大陆裂谷或山前凹陷等部位形成, 并以干旱、半干旱气候和海水充足供应为先决条件。笔者以盐类矿床的蒸发沉积论来阐述钾盐矿床形成的一般规律。

1.1 钾盐矿床的时空分布规律

钾盐矿床在总量上比较丰富(表1), 但是它在时空分布上却是不平衡的(魏东岩, 1999)。从产出

的地质时代上看, 前寒武纪尚未发现有钾盐产出的报道。自寒武纪起, 除奥陶纪没有发现钾盐矿床外, 其他地质时代都有钾盐分布。然而钾盐矿床的形成时代确实有差异: 世界上大型、超大型的钾盐矿床形成的时代是寒武纪、泥盆纪、二叠纪和三叠纪。大型、超大型的钾盐矿床在地史上的分布与地壳运动和板块构造活动有关。而且钾盐矿床在地域分布上也是不平衡的, 超大型的钾盐矿床主要分布在北半球的欧洲和北美洲。钾盐矿床在时空上的分布可能与不同的地史时代地球上不同地区的地壳运动及其古气候多样性有关。

表1 世界主要含钾盆地与成钾时代

Tab. 1 Major potash-bearing basins in the world and their potash-forming times

成盐成钾时代		盆地或成矿名称	地质发展的构造旋回	
纪	世			
第四纪	全新世	察尔汗(中国)、大盐湖(美国)、西尔斯湖(美国)	喜马拉雅旋回	阿尔卑斯旋回
	更新-全新世	死海		
新近纪	上新世	西西里盆地(意大利)、东喀尔巴阡(俄罗斯、波兰)、马蛮地区(伊朗)、达拉基尔洼地(埃塞俄比亚)		
古近纪	渐新世	莱茵地堑(法国、德国)、埃布罗盆地(西班牙)		
	始新-渐新世	江汉盆地(中国)		
	古新世	江城盆地(中国)		
白垩纪	晚白垩世	呵叻盆地(泰国)	燕山亚旋回	华力西旋回
	早白垩世	霍利-圣保罗(刚果)、塞尔西培(巴西)		
侏罗纪	晚侏罗世	塔吉克斯坦盆地(土库曼斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦)	印支亚旋回	
三叠纪		阿基坦盆地(法国)、阿尔卑斯(奥地利)、赫米塞特盆地(摩洛哥)、北萨哈拉盆地(阿尔及利亚)		
二叠纪	晚二叠世	亚马逊盆地(巴西)、新墨西哥盆地(美国)、蔡希斯坦盆地(德国、英国、波兰、丹麦)	华力西旋回	
	早二叠世	滨黑海低地盆地(俄罗斯、哈萨克斯坦)、乌拉尔山前凹陷带(俄罗斯)		
石炭纪	中-晚石炭世	帕拉多克斯盆地(美国)		
	早石炭世	滨海诸省盆地(加拿大)		
泥盆纪	晚泥盆世	斯塔罗宾盆地(白俄罗斯)	华力西旋回	
	中泥盆世	萨斯喀彻温盆地(加拿大、美国)		
志留纪	晚志留世	密执安盆地(美国)	加里东旋回	
寒武纪		盐岭盆地(巴基斯坦)、拉贾斯坦盆地(印度)、涅帕盆地(俄罗斯)		

注: 资料来源于魏东岩, 《试论钾盐矿床的成矿条件》

1.2 钾盐矿床形成的物质基础

一般都认为世界上大型的钾盐矿床是海相的。海水中含钾量丰富而稳定, 海相钾盐矿床规模巨大、

质量优良。然而, 海相钾盐矿床的沙洲说还必须有一个条件即海相成盐盆地和大洋之间必须是半封闭状态, 才能保证大洋水能周期进入盐盆地, 这是海

相成盐储量巨大、含钾丰富的重要条件。但是陆相成盐在近年来也受到了相当的重视, 陆相盐类沉积中钾的来源虽然没有海相盐类沉积那样稳定和丰富, 但是在某些特定的条件下, 在陆相盐类沉积中也有丰富钾的来源, 如含钾较高的结晶岩和火山岩的风化物以及古钾盐层的淋滤产物等都含钾较高。近年来, 依据海洋地质、地下热卤水和盐类沉积地层和构造环境的实际资料, 提出了盐类物质深部来源的事实和理论推断, 充分证明了盐类物质深部来源的重要意义。我国一些中、新生代红层盆地和现代盐湖中, 也有许多资料证明盐类物质深部来源的直接和间接的证据, 如我国柴达木盆地察尔汗盐湖(张彭熹等, 1993)、新疆罗布泊盐湖(王诤力等, 2001)。

1.3 钾盐矿床形成的地质构造条件

钾盐矿床形成的大地构造条件可分为两类: 古生代钾盐矿床形成的大地构造条件和中生代钾盐矿床形成的大地构造条件。前者又分为两种情况, 一是巨型的成盐盆地, 往往位于地台内部凹陷和边缘凹陷——地壳相对稳定的地区(袁见齐, 1964); 二是成钾盆地位于巨大的地堑或裂谷构造中, 如加拿大早石炭世滨海诸省成钾盆地。位于地台内部凹陷和边缘凹陷中的钾盐盆地是地壳相对稳定地区中的相对活动地区, 例如俄罗斯早寒武世涅帕钾盐矿床之成钾盆地(钱自强等, 1994)。前苏联多加仁凹陷之边部由深部大断裂所控制。又如加拿大中泥盆世萨斯喀彻温钾盐盆地位于 Elk point 含盐盆地之最东南的一个次级盆地(Fuzesy, 1983), 是三级盆地的最后一级。

中生代钾盐盆地的大地构造位置多与岩石张性断裂有关, 或者是板块边界张裂区, 或者是深大陆所圈限的构造盆地, 也可以是深大断裂所形成的地堑和裂谷。例如欧洲渐新世莱茵地堑钾盐矿床(钱自强等, 1994), 构造沉陷十分强烈。在中晚渐新世, 地堑成为北海和地中海连线的通道, 一直下沉持续到上新世。又如北起土耳其南部陶鲁斯山经死海、红海抵亚丁湾, 折向埃塞俄比亚的达拉基尔盐谷, 向南为东非裂谷, 是大多数地质学家公认的正在形成的强烈裂谷带。在这个裂谷带中, 正在形成盐类堆积。其中, 死海和达拉基尔形成了或正在形成固、液相钾盐矿床, 东非裂谷正在形成碳酸钠矿床。裂谷是盐类的堆积场所, 也是原生卤水的储

积场所。

1.4 钾盐矿床形成的岩相古地理条件

沉积相是指沉积物的面貌和它所反映的沉积环境的总和。物质来源只是成矿的基础, 是成矿的重要条件, 但不是唯一条件。察尔汗盐湖钾盐矿床的资料表明, 即使是在钾的克拉克值并不是很高的地区, 只要具备钾元素分异富集的优良条件, 也可形成钾盐矿床。在这种情况下, 地区的古构造、古地理、古气候、古水文等条件就成为评价钾盐的主要依据(袁见齐, 1961; 袁见齐, 1980)。而这些条件则具体反映在含盐岩系的岩相、岩性上。含岩盐系主要是碎屑岩系和碳酸盐岩系, 它们反映着物质来源、沉积作用和沉积环境的明显差异。钾盐沉积环境的岩相大致可分为两类: 一种是碳酸盐岩型, 一种是碎屑岩型。世界上已知的大型钾盐矿床均为碳酸盐岩型。

钾盐矿床形成的古地理条件较为复杂。古生代超大型钾盐矿床之成钾盆地一般先是广海中由堤礁形成的大盐盆, 然后再由断陷作用而形成次级钾盐盆地。如俄罗斯早寒武世涅帕钾盐盆地古地理条件是: 寓于广海中, 但与广海又有一些堤礁带和水上隆起相隔, 使盆地得以封闭, 蒸发浓缩。在钾盐沉积时期, 由于盆地边缘长期活动的断裂使盆地低部周期性的出现台阶阻止高矿化度卤水外泻。如加拿大中泥盆世萨斯喀彻温钾盐盆地, 钾盐矿只形成于三级盆地最低一级的萨斯喀彻温盐盆中(Holter, 1972)。此外, 古生代钾盐盆地的古地理环境还包含泻湖湾型和浅海陆架盆地型, 分别以美国中晚石炭世的帕拉多克斯成钾盆地和西北欧晚二叠世大型含盐盆地——蔡希斯坦成钾盆地著称。

1.5 钾盐矿床形成的气候条件

钾盐矿床同其他盐类矿床一样也需要干旱的气候条件。由于钾盐是卤水演化的最后阶段的产物, 故需要持续干旱的气候条件。世界上大型的钾盐矿床, 如泥盆纪、二叠纪和古近纪、新近纪形成的巨型钾盐矿床, 都是在加里东、华力西和阿尔卑斯造山运动末期形成的。在造山运动末期, 由于地壳抬升, 海水后退, 气候干旱, 则利于钾盐矿床形成。干旱气候带形成受地形、地貌控制也很明显。袁见齐教授提出盐类矿床形成于“高山深盆”的假说, 总结了这方面的问题: 在裂谷-地堑带上, 由于强烈的断陷活动, 形成中间低凹, 四周突高的盆地地形地貌, 在

地形高差达数千米时,盆内由于四周高山阻挡了季风的吹送,于是形成盆地内极端的干旱气候,利于盐类的沉积,红海盆地及柴达木盆地等都是很好的例子。

综上所述,钾盐矿床的形成较其他盐类矿产的形成需要更为苛刻的地质条件,表现为物源条件、地质构造条件、盐相古地理、气候等。地质时期富钾卤水在持续干旱的气候条件下,在适当的地形条件下不断浓缩,先后析出碳酸盐、硫酸盐、石盐,最后析出钾石盐。钾盐常与石膏-硬石膏和厚层的石盐相伴生,以牛眼式或泪滴式分布于厚层石盐的中心或边缘。

2 塔里木盆地地质环境演化

2.1 塔里木盆地自然地理概况

塔里木盆地在新疆维吾尔自治区境内,位于南天山山脉和西昆仑山山脉之间,总面积约 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$,是我国最大的沉积盆地。年降水量仅几十毫米,蒸发量大于降水量,属典型的温带大陆性干旱气候,本区域的河流都是靠近南、北部高山上冰雪融水汇集而成,流向盆地中部,大部分半途消失,仅有小部分汇入湖泊,都是内流河。本区域最大的内流河是塔里木河,也是我国最长的内流河。

2.2 塔里木盆地地质环境演变史

塔里木地区经过元古代末期地壳的回返运动抬升为塔里木古陆(汤良杰,1996;张光亚等,1994),各种变质深浅不一的岩石构成了塔里木盆地的基底。经历古生代、中生代和新生代,在变质基底上不断发生了海侵、海退和抬升,造成各类不同的沉积环境,接受从震旦纪以来各时期不同类型的沉积物。古生代塔里木盆地经历了多次的海侵和海退旋回,接受了大量的膏泥岩、碳酸盐岩和镁质碳酸盐岩。到了中生代(郭宪璞等,2002;Hao等,1988),进入了内陆盆地的发展时期,由于华力西运动的影响,南北褶皱山系崛起,山前边缘大断裂迅速发展,在山前地带形成了小型的断陷盆地。晚三叠世开始一直到中新世(陈荣林,1996),发育了两个巨大的前陆盆地——塔西南凹陷和库车凹陷,分别位于天山山前和昆仑山山前(图1),共以中央隆起作为他们的前陆隆。从晚白垩纪到古近纪这一地质历史上重要的成盐阶段,塔西南凹陷和库车凹陷

(马华东等,2003),多次受到了古特提斯海入侵的影响。

侏罗纪末的燕山早期运动使盆地抬升,遭受侵

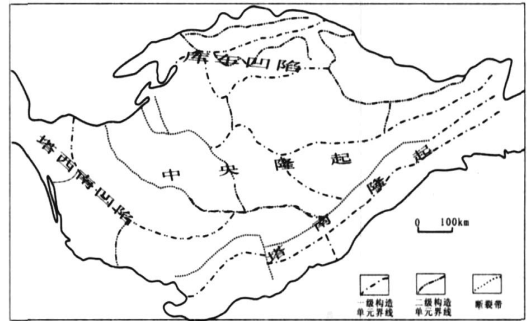


图1 塔里木盆地地质构造分布图

Fig.1 Location of geological tectonics in Tarim basin

蚀,白垩系与侏罗系间形成不整合或假整合。白垩纪初期塔里木又开始沉陷,形成西南凹陷区和东部凹陷区。早白垩世沉积了一套洪积相、河流相和湖泊相碎屑岩。晚白垩世,在世界性的海侵影响下,古特提斯海水经中亚侵入盆地的西南凹陷区(孙宝生等,2003),东到洛甫、北到麦盖提玛札塔克,成为一袋状的浅海-泻湖相地域(Hao等,1990)。

2.2.1 塔里木盆地白垩纪地质环境演变

早白垩世末的燕山中期运动,使喀什—皮山一线以南的昆仑山山前的地带,受世界性的海侵的影响,使古地中海海水从西部阿莱依海峡进入本区,形成一个狭窄的带状海湾,沉积了一套台地-泻湖相的灰岩、膏泥岩、白云岩和石膏(贾承造,1997)。晚白垩世早期,海侵开始,海水侵入塔里木盆地西部,逐渐形成一个袋状海湾。这一袋状海湾被一隆起分割成喀什海和叶城海。喀什海域生活着牡蛎、蛤、菊石、有孔虫、藻类等海生生物,表明了是与外海畅通的正常的海环境。而叶城海则海域生物较少,有孔虫多为胶结壳底栖类型的幼体,属种单调,壳小,表明是非正常的海相环境,当淡水注入量较大时海水淡化,而蒸发量增大时海水咸化,海域盐度经常发生变化,使正常的海生窄盐度生物难以生存。在海域中心,深度较大,环境安静,沉积了暗色泥岩。晚白垩世中期,开始发生海退,海生生物因海水咸化而大量死亡,形成高盐度泻湖,沉积了红色膏泥岩、石膏和白云岩。晚白垩世晚期初又发生了更大规模的海侵,出现了范围更大的袋状海湾,沉积了

以碳酸盐台地相为主的沉积物, 河流带入的陆源碎屑物质很少, 海水清澈透明, 温度、盐度正常。

塔里木盆地白垩纪沉积相的演化过程, 由于所处的古地理位置不同而有所差异(张朝军等, 1998)。首先, 北部和东部地区, 包括拜城—库车和盆地东部地区, 由于燕山早期运动, 天山抬升、库车—拜城急剧下沉的相对发展, 造成了地势的差异。因此, 早白垩世在凹陷边缘形成了百余米厚的洪积相砾岩沉积, 随着填齐补平作用, 地势差异减小, 洪积层之上发展了洪冲积平原的地理景观, 河流纵横交织, 广大地区发育了河流相砾岩、砂岩及砾状砂岩沉积。随着时间的推移, 地势进一步平坦化, 河流的携带能力减弱, 在构造凹陷区河水汇集、湖泊密布, 广泛发育了浅湖相泥岩、砂岩沉积。这就是早白垩世后期的杂色砂岩、泥岩和棕红色砂质泥岩、砂质沉积, 气候由半干旱向干旱转化。在盆地东部, 由于地势高于库车凹陷, 河流向西北方向的库车凹陷汇集, 在这里形成了大面积冲积平原的河流相砾岩、砂岩沉积。其次, 西南缘地区在早白垩世继承了晚侏罗世的沉积, 由晚侏罗世洪积相砂砾岩发展为陆相平原河流相沉积, 沉积了一套以砖红色为主的块状交错石英砂岩和石英杂砂岩。厚达 1 000 m 以上, 在西南凹陷全为这种沉积物所覆盖, 直至英吉沙一带, 河水汇集为浅水湖泊相, 沉积了红色砂泥岩。晚白垩世, 沉积相随着古特提斯海的向东侵入, 而变为浅海台地相沉积, 从沉积物的特征上看, 晚白垩世时, 西南边缘地区经过了两次规模不大的海侵, 反映在沉积物上由台地碳酸盐岩和泥岩沉积变为蒸发台地泻湖相的膏泥岩和石膏沉积旋回, 以英吉沙和喀什地区最为明显。

总之, 塔里木盆地白垩纪沉积相的演化特点为, 早白垩世全盆地继续发展着陆相沉积, 且以河流相和浅湖相砂泥岩最为发育, 晚白垩世盆地东部和北部地区大面积抬升成为古陆, 除在拜城附近有少量的沉积外, 其他地区没有接受沉积, 而在盆地西南缘, 由于海水侵入, 广泛发育了浅海—滨海台地碳酸盐岩、泥岩和泻湖相的膏泥岩、石膏沉积, 沉积厚度较小。

2.2.2 塔里木盆地新近纪、古近纪地质环境演变

新生代是塔里木盆地发展的极盛时期(邱芳强等, 2000)。燕山晚期构造运动使天山山前凹陷中的中生代地层产生强烈的褶皱。盆地东部广大地区抬

升为陆, 仅在西南凹陷及库车凹陷相对下降, 接受早古近纪的沉积。新生代是塔里木形成统一盆地的时期, 古近纪继承了晚白垩世的海侵, 在盆地西南部沉积了海相碳酸盐岩、碎屑岩和膏泥岩, 东部和北部则为红色陆相碎屑岩。在早期海水曾短暂的侵入北部, 局部有膏盐层。新近纪主要为陆相红层。古近系在塔里木西部主要分布于昆仑山北麓、皮山以西的地区, 发育有海相地层, 岩性为白色块状、晶粒状石膏和白色、灰色块状灰岩, 局部地区夹有红色泥岩和石膏层。新近系主要分布于山边地带, 普遍为石膏层及膏泥层。塔里木盆地东部地区, 古近纪、新近纪时没有或很少受到地中海海侵的影响, 主要发育陆相沉积, 地层发育最完整, 厚度最大的在拜城—库车地区, 岩性主要是砾状砂岩和红色、褐色砾岩, 偶夹有石盐层。古近纪, 古地中海的海水再次进入喀什—叶城凹陷, 海侵范围已经扩大到了于田河以西的地区。往北海水不时侵入到拜城凹陷西部, 成为一个与海相通的开阔型广盆。古近纪古地理环境多变, 沉积物主要有冲积扇碎屑岩沉积, 冲积平原河流相碎屑岩沉积, 盐湖相碎屑岩、蒸发岩沉积, 蒸发台地泻湖相膏泥岩沉积, 潮坪碳酸盐岩、泥岩沉积, 台地边缘相泥岩沉积。古近纪时期, 塔里木广大地区均为剥蚀地区。古新—始新世沉积遍布于西塔里木盆地的广大地区, 如西南凹陷, 西南斜坡, 阿瓦提凹陷, 盆地的大部分地区均为海相沉积。西塔里木盆地在古近纪时期是一个高硫酸盐海湾, 不利于生物生存。而且还出现了大面积石膏沉积、盐与天青石的夹层和适应干旱气候条件下的麻黄粉的出现, 表明是一个干旱型热带—亚热带高盐湖, 形成了巨厚的石膏层。始新世早期西塔里木是一个泻湖型的海湾, 中晚期则变成正常的海海湾, 到渐新世初, 海水只淹没了喀什以西的地区, 海相沉积层较薄, 是一典型的干旱型的热带—亚热带区的温暖海湾, 形成的多为红色泥岩。

古地中海海水从晚白垩世侵入塔里木西南边缘, 一直到古近纪几经进退, 形成了石膏—碳酸盐岩—泥岩的海进沉积序列。古新世, 在凹陷的山前边缘, 沉积了以砂砾岩为主的山麓边缘相, 随后在砂砾岩之上发育了石膏、灰岩和泥岩。古新世时, 在海水侵入之前形成山麓堆积, 随后海水逐渐侵入, 形成泻湖等沉积, 出现了石膏和膏泥岩。始新世时, 海水退缩, 出现了介壳灰岩, 最后在凹陷内再次出现

石膏、膏泥岩和棕红色泥岩。这就是塔里木西南凹陷古近系、新近系第一次由海进到海退的沉积相演化历程,即由古新世至始新世早期由山前堆积的砾岩-泻湖、石膏、膏泥岩-浅海开阔台地的灰岩、泥岩-潮坪介壳灰岩、泥岩-泻湖、潮坪的膏泥岩、石膏的演化过程。第二次海侵为陆源碎屑影响较大的开阔台地,沉积了砂岩、泥岩夹灰岩。由于陆源影响较大,海水浑浊,碳酸盐岩沉积不太发育,而且多含泥质和砂质,砂岩、粉砂岩和砂质泥岩。直至始新世中晚期海水又开始缓慢退缩,有石膏团块和碎屑岩薄层出现。进入渐新世,沉积了泻湖相石膏层,随后开始了小规模进涌,出现了潮坪相的红色泥岩和碎屑岩。进一步沉积以紫红色泥岩夹介壳灰岩为主的局限台地相沉积。之后海水退缩,又形成受陆源影响的潮坪碎屑岩和泥岩沉积,直至最后变为膏泥岩和石膏。总之,南部地区由于古地中海的进袭,经历了3次海进、海退的变化,在古近纪形成了3个由石膏—灰岩—泥岩—石膏的沉积旋回。北部地区在古近纪沉积相的发展以陆相沉积为主。在凹陷的北部边缘为山麓洪积相的粗碎屑沉积,向南至中心部分变为浅湖相砂泥岩沉积。由于地势的下沉,湖泊相沉积不断扩大,在海水进入时可在碎屑岩总产生薄层灰岩及石膏层。这是海水退去后残余高咸度湖泊的沉积。在古近系出现的3层膏泥岩层,是与南部的3次海水进袭密切关联的。总之,北部凹陷在古近纪以湖泊相发育为主,形成3个半咸—高咸浅水湖泊的红色砂泥岩—膏泥岩的沉积旋回,一直到中新世。

新近纪(林耀庭,1995)是塔里木形成盆地统一的时期,它继承了古近纪的干旱气候。新近纪塔里木盆地沉积区域扩大,统一了盆地分割的局面。由于喜马拉雅运动的影响,盆地四周的山系,天山、昆仑山、阿尔金山剧烈隆升,盆地相对沉降,造成明显的地势差异。河流流量增加,携带了大量剥蚀物向盆地倾泻,沿各山前地带形成规模巨大的洪积扇群。在中新世和上新世,盆地北部发育的湖泊是一种浅咸水湖泊,沉积了褐红色砂泥岩互层的浅湖相沉积。东部膏泥岩发育,含有石盐层。西部膏泥岩不发育。

总之,新生代是塔里木形成统一盆地的时期(郝诒纯等,2002),燕山运动晚期构造运动使天山山前凹陷中的中生代地层产生了强烈的褶皱,盆地

东部广大地区抬升为陆地,仅在西南凹陷及库车凹陷相对下降接受古近纪的沉积。古近纪继承了晚白垩纪的海侵(陈荣林等,1996),在盆地西南部沉积了海相的碳酸盐岩、碎屑岩和膏泥岩。古近纪,柯坪和巴楚的广大地区、库鲁克塔格山区和东塔里木的广大地区都是剥蚀区,古新—始新世沉积遍布于西塔里木的广大地区,如西南凹陷、西南斜坡、阿瓦提凹陷。盆地北缘的库车凹陷及南缘的东南凹陷,除边缘地区有范围不大的陆相沉积外,大部分地区为海相沉积。塔里木盆地北部古近纪、新近纪盐类沉积分布广泛(陈荣林等,2001),主要发育在库车凹陷中西部和沙雅隆起的沙西-拱踏克断褶带,西起温宿塔克拉克,东至库车河及以东一带。库车凹陷包括现今的库车、阿瓦提和塔北隆起的大部分地区。该区中新统主要为洪积、冲积和河流相碎屑岩沉积(陈楚铭等,1998;汤良杰等,2003;刘和甫,1995)有时发育间歇性湖泊沉积,厚度300~1700m,为褐色、蓝灰色泥岩、粉砂岩和砂岩互层沉积。塔西南凹陷新近系也分布广泛,沉积厚度大,最厚达6000余米,主要为陆源碎屑的砂岩、泥岩、砾岩的交互沉积(张运东等,1999)。

综上所述,塔里木盆地在地质时期形成了两个前陆凹陷(盆地):库车盆地和塔西南盆地,由于多次古特提斯海的海侵和海退,给库车盆地和塔西南盆地带来了大量的成盐物质,沉积了厚层的石盐岩,膏泥盐岩,泥岩盐等,为钾盐的找矿工作奠定了良好的基础。

3 塔里木盆地找钾概况及研究进展

塔里木盆地的钾盐调查工作始于20世纪40年代,袁见齐教授当时参加西北盐产调查团,对库车一带的岩盐作了概略描述。解放后,国家针对我国钾盐资源紧缺的状况开展了大规模的钾盐调查工作。经过大范围的区域地质调查,发现了大量新盐点,并对岩盐产出特征、分布区域、发育规模、地质储量等作了简单的评价,编绘了大量的地质图件;70年代以来,对库车、莎车盆地含盐系地层的划分、对比、盐相古地理演化、地质构造特征等进行了比较详细的研究,并提出了一些可能成钾的有利区域;70至80年代开展了油盐兼探研究及库车盆地浅部钾矿普查的钻孔研究,通过石油钻孔对个别地区深

部岩盐含钾情况作了初步调查, 同时在库车盆地进行了百米以内的浅钻, 对这一地区的盐矿点浅部岩盐作了初步调查、评价。

对于塔里木盆地的岩盐分布区地质特征、古环境演化、地层的划分与对比, 盐矿点分布及产出特征等方面作了大量的工作, 开展了卓有成效的研究, 积累了大量的资料, 编绘了大量的各类图件, 通过库车盆地浅部钻孔研究, 对库车岩盐地质、地球化学等特征作了较详细的研究。郑绵平等对我国的钾盐资源及塔里木盆地的钾盐状况做了详细的论证(郑绵平等, 2006), 分析了中国钾资源供需形势、有利成盐找钾时代、主要的有利成钾盆地等, 回顾了我国找钾工作的历史, 指出中国西部仍有找钾前景, 尤其是中、上侏罗统一白垩系和新生界, 其次是上震旦统一寒武系、石炭系、奥陶系和三叠系。同时, 还应继续开展现代盐湖和地下卤水找钾和综合评价, 主要找钾地区为塔里木盆地、滇西-羌塘盆地、柴达木盆地和上扬子盆地。鉴于中国特定的成盐构造地质条件和钾盐成矿、保存特点, 以及国外预测找钾的经验, 在中国找钾要有做长期深入勘查研究的思想准备和采取切实有效的措施, 建议对找钾工作加大投入, 加强找钾预测的地质基础研究, 建立专业队伍和落实油钾兼探的方针。谭红兵等(谭红兵等, 2005, 2005)通过对塔里木盆地不同地区盐矿点古岩盐氯同位素分析发现, 莎车及库车产出的岩盐氯同位素分布明显不同, 前者显著偏负, 后者则全为正值。通过结合现有关于卤水、岩盐氯同位素研究数据, 参考岩盐 $\text{Br} \times 10^3 / \text{Cl}$ 系数、卤水水化学特征, 证明 $\delta^{34}\text{Cl}$ 值是贫 Br 地区指导找钾的一有效指标。运用这一指标推测莎车盆地形成岩盐的古卤水浓缩程度明显高于库车盆地, 特别是莎车盆地西部的喀什坳陷 $\delta^{34}\text{Cl}$ 值最为偏负, 推测当时成盐古卤水已浓缩到晚期阶段, 可作为一找钾远景区开展更进一步调查研究。谭红兵等(谭红兵等, 2004, 2004)通过多年野外实地调查和大量岩盐样品的化学分析, 特别是岩盐中可以指示沉积阶段的 $\text{Br} \times 10^3 / \text{Cl}$ 系数等区域分布特征, 联系前人研究资料, 分别从构造环境、地层和岩相古地理、地球化学特征等方面进行了成钾条件分析。结果表明, 莎车盆地西部喀什坳陷和库车盆地中部拜城坳陷宏观地质特征均有利于钾盐沉积; 岩盐地球化学组成相对于正常海相沉积表现出明显的贫 Br 特征, 属海陆交互

相或海源陆相沉积。相比之下, 莎车盆地的喀什次级坳陷是目前最有前景的找钾远景区。马万栋等(马万栋等, 2006, 2007)通过对塔里木盆地西部卤水的地球化学特征分析, 讨论了寻找钾盐的直接指标 K^+ 含量和各种地球化学特征系数, 探讨了塔里木盆地的成盐模式、卤水浓缩阶段和成钾可能性, 得出塔里木盆地的钾盐远景区是喀什凹陷和阳霞凹陷; 依据溴和硼含量以及各种特征系数值与正常卤水浓缩值比较, 可知塔里木盆地是溴和硼等微量元素含量较少的地区, 不能完全依靠这些特征参数来判断塔里木盆地的卤水浓缩程度和钾盐资源状况, 同时也说明了塔里木盆地是一个成盐环境相对比较复杂的地区。王弭力等(王弭力等, 2006)在总结分析了近 10 年来对塔里木盆地罗布泊钾盐资源调查状况和工作做了详细的分析和总结, 论述了塔里木盆地的钾盐资源状况, 指出只要我们在成钾理论上进行思索和创新, 就有可能取得新的突破。同时, 指出罗布泊钾盐沉积揭示了塔里木盆地是我国一个重要的钾盐富集区, 塔里木盆地西部白垩纪—新近纪、古近纪含盐系地层将是未来找钾盐可能取得突破的重要层位, 新的成钾理论将在古代盐湖找钾工作得到应用和发展。

4 结论与展望

通过塔里木盆地在晚白垩—古近纪这一地质历史上重要的成盐期地质环境的演化历史研究综述, 笔者分析了塔里木盆地的成盐资源状况, 确定塔里木盆地的浓缩中心, 为塔里木盆地的找钾工作奠定了良好的基础。塔里木盆地的地质历史(沉积相)形成方面的问题是一个争议的问题, 不同的专家有不同的意见。因为不同的沉积相有不同的成盐模式, 所以塔里木盆地的成盐模式需要进一步探讨。野外工作中发现, 塔里木盆地的卤水大都经过了厚层的岩盐淋滤而成。同时, 岩盐中含钾较高的大部分是盐华, 因此仅凭岩盐和卤水的分析及地质演化很难获得良好的预测结果, 这是在塔里木盆地找钾工作面临的主要问题。今后应该加强成盐理论的基础研究, 确定不同的沉积相成盐理论。与此同时加强含盐系地层中同位素的研究, 确定岩盐的沉积阶段, 为钾盐的寻找奠定良好的基础。

参考文献 (References):

- 张彭熹, 张宝珍, T K. 洛温斯坦, 等 古代异常钾盐蒸发岩的成因——以柴达木盆地察尔汗盐湖钾盐的形成为例 [M] 北京: 科学出版社, 1993: 1-126
- 赵振宏, 侯光才, 蔡青勤, 等 罗布泊钾卤水矿床成矿地质背景 [J] 新疆地质, 2002, 20 (3): 210-213
- 林耀庭, 唐庆, 熊淑君 四川盆地海相三叠系异常水化学探盐找钾的研究 [J] 化工矿产地质, 1999, 21 (1): 7-14
- 郑绵平, 齐文 晚更新世以来罗布泊盐湖的沉积环境和找钾前景初析 [J] 科学通报, 1991, 36 (23): 1810-1813
- 袁见齐 中国内陆盐湖钾盐沉积的若干问题 [A] 袁见齐教授盐矿地质论文选集 [C] 北京: 学苑出版社, 1989: 85-89
- 关绍曾, 江宗龙, 魏东岩, 等 中国板块构造与盐类矿产 [J] 化工矿产地质, 1996, 18 (2): 73-81
- 李春昱, 王荃, 刘雪亚 中国的内生成矿与板块构造 [J] 地质学报, 1981, 55 (3): 1-3
- 魏东岩 试论钾盐矿床的成矿条件 [J] 化工矿产地质, 1999, 21 (1): 1-6
- 王翎力, 刘成林, 焦鹏程, 等 罗布泊盐湖钾盐资源 [M] 北京: 地质出版社, 2001: 1-342
- 袁见齐 钾盐矿床成矿理论的发展与钾盐找矿问题 [A] 袁见齐教授盐矿地质论文选集 [C] 北京: 学苑出版社, 1989: 103-109
- 钱自强, 曲一华, 刘群著 国外矿床地质丛书——钾盐矿床 [M] 北京: 地质出版社, 1994: 148-158
- 袁见齐 含钾沉积形成条件的几个问题 [A] 袁见齐盐矿地质论文选集 [C] 北京: 学苑出版社, 1989: 90-102
- 袁见齐 钾盐矿床成矿理论研究的若干问题 [A] 袁见齐盐矿地质论文选集 [A] 北京: 学苑出版社, 1989: 130-135
- 汤良杰 塔里木盆地演化和构造样式 [M] 北京: 地质出版社, 1996: 1-136
- 张光亚, 陈发景, 汪新文 塔北地区变形样式及变形规律 [J] 地球科学, 1994, 16 (6): 755-768
- 郭宪璞, 丁孝忠, 何希贤, 等 塔里木盆地中生代海侵和海相地层研究的新进展 [J] 地质学报, 2002, 76 (3): 299-307
- 陈荣林 塔里木盆地第三纪含盐系地质特征研究 [J] 化工矿产地质, 1996, 18 (4): 276-283
- 马华东, 杨子江 塔里木盆地西南新生代盆地演化特征 [J] 新疆地质, 2003, 21 (1): 92-95
- 孙宝生, 刘增仁, 王招明 塔里木西南喀什凹陷几个地质问题的新认识 [J] 新疆地质, 2003, 21 (1): 78-84
- 贾承造 中国塔里木盆地构造特征与油气 [M] 北京: 石油工业出版社, 1997: 348-357
- 张朝军, 田在艺 塔里木盆地库车凹陷第三系盐构造与油气 [J] 石油学报, 1998, 19 (1): 6-10
- 邱芳强, 丁勇, 王辉 库车盆地的沉积物源分析 [J] 新疆地质, 2000, 18 (3): 252-257
- 林耀庭 论四川盆地三叠系盐类变质作用及找钾方向 [J] 化工矿产地质, 1995, 17 (2): 93-102
- 郝诒纯, 关绍曾, 叶留生, 等 塔里木盆地西部地区新近纪地层及古地理特征 [J] 地质学报, 2002, 76 (3): 289-297
- 陈荣林, 范明, 马红强 塔里木盆地北部第三系盐类沉积和油气勘探 [J] 新疆地质, 2001, 19 (2): 107-110
- 陈楚铭, 卢华复, 贾东, 谢晓安 塔里木盆地晚第三纪—第四纪沉积特征、构造变形与石油地质意义 [J] 沉积学报, 1998, 16 (2): 113-116
- 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等 库车前陆褶皱带盐相关构造模式 [J] 中国科学 (D), 2003, 33 (1): 38-46
- 刘和甫 前陆盆地类型及褶皱-冲断层样式 [J] 地学前缘, 1995, 2 (3): 59-68
- 张运东, 宋建国, 朱如凯 塔里木盆地西南坳陷上第三系沉积相及岩相古地理特征 [J] 新疆石油地质, 1999, 20 (2): 123-126
- 郑绵平, 齐文, 张永生 中国钾盐地质资源现状与找钾方向初步分析 [J] 地质通报 2006, 25 (11): 1239-1246
- 谭红兵, 马海州, 肖应凯, 等 塔里木盆地西部古岩盐氯同位素分布特征与找钾分析 [J] 中国科学D 辑, 2005, 35 (3): 235-240
- 谭红兵, 马海州, 许建新, 等 塔里木盆地西部古盐岩同位素地球化学与成钾预测研究 [J] 地球学报, 2005, 26 (B09): 174-179
- 谭红兵, 马万栋, 马海州, 等 塔里木盆地西部古盐矿点卤水水化学特征与找钾研究 [J] 地球化学, 2004, 33 (2): 152-158
- 谭红兵, 马海州, 马万栋, 等 塔里木盆地西部古岩盐地质地球化学特征与成钾条件分析 [J] 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23 (3): 194-199
- 马万栋, 马海州 塔里木盆地西部卤水地球化学特征及成钾远景预测 [J] 沉积学报, 2006, 24 (1): 96-106
- 马万栋, 孙国芳 塔里木盆地西部盐矿点卤水地球化学特征及成钾预测 [J] 中国地质, 2007, 34 (4): 636-641
- 王翎力, 刘成林, 焦鹏程 罗布泊盐湖钾盐矿床调查科研进展与开发现状 [J] 地质论评, 2006, 52 (6): 757-764
- ZHAO Zhenhong, HOU Guangcai, CA I Q ingqin, et al Quaternary Geological Setting of Kalium Bitter Deposits in Lopnor Region [J] Xinjiang Geology, 2002, 20 (3): 210-213
- L N Yaoting, TANG Q ing, XIONG Shujun. Application of Hydrochemical Anocating Salt and Potassium Resources in Marine Triassic Sequence in Sichuan Basin

- [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 1999, 21 (1): 7-14
- ZHENG Mianping, QI Wen, WU Yushu, et al Preliminary Study on Sedimentary Environment of the Lopnor Salt Lake and its Prospect for Potassium [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37 (11): 935-939
- YUAN Jianqi Some Problems of Potash Deposition in Inland Salt Lake, China [A]. *Profession Yuan Jianqi's Selection of Papers on Salt Mine Geology* [C]. Palaestra Press, Beijing, 1989: 85-89
- GUAN Shaozeng, JIANG Zonglong, WEI Dongyan, et al Chinese Saline Deposits in Relation to Plate Tectonics [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 1996, 18 (2): 73-81
- LI Chunyu, WANG Quan, LIU Xueya The Metallogeny and Plate-tectonics of China [J]. *Acta Geological Sinica*, 1981, 55 (3): 1-3
- WEI Dongyan On Conditions for Origination of Potash Deposits [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 1999, 21 (1): 1-6
- YUAN Jianqi Development of Potash-forming Theories and Potash-searching [A]. *Profession Yuan Jianqi's Selection of Papers on Salt Mine Geology* [C]. Palaestra Press, Beijing, 1989: 103-109
- Fuzesy L. M. Petrology of Potash Ore in the Middle Devonian Prairie Evaperite, Saskatchewan Potash Technology. Pergamon Press, Toronto et al 1983 47-57.
- YUAN Jianqi Some Problems of Potash-forming Condition [A]. *Profession Yuan Jianqi's Selection of Papers on Salt Mine Geology* [C]. Palaestra Press, Beijing, 1989: 90-102
- YUAN Jianqi Some Problems of the Study on Potash-forming Theories Profession Yuan Jianqi's Selection of Papers on Salt Mine Geology [C]. Palaestra Press, Beijing, 1989: 130-135
- Holter M. E. *Geology of Prairie Evaporate Formation of Saskatchewan, Canada* [M]. *Geology of Saline Deposits* Paris: UNESCO, 1972 183-189
- TANG Liangjie The Tectonic Evolution and Structural Styles in Tarim Basin [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1996, 1-136
- ZHANG Guangya, CHEN Fajing, Wang Xinwen Deformation Style and Its Distribution in North Tarim Basin, Northwestern China [J]. *Earth Science-journal of China University of Geosciences*, 1994, 16 (6): 755-768
- GUO Xianpu, DING Xiaozhong, HE Xixian, et al New Progress in the Study of Marine Transgressional Events and Marine Strata of the Meso-Cenozoic in the Tarim Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76 (3): 299-307.
- HAO Yichun, ZENG Xuelu, GUO Xianpu The marine Cretaceous in the Western Part of the Tarim Basin of Xinjiang and its depositional environments [J]. *Acta Geol Sinica*, 1988, 1 (1): 13-27.
- CHEN Ronglin Geological Characteristics of the Tertiary Salt-bearing Sequences in Tarim Basin [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 1996, 18 (4): 276-283
- MA Huadong, YANG Zijiang Evolution of the Cenozoic in Southwestern Tarim Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 2003, 21 (1): 92-95
- SUN Baosheng, LIU Zenren, WANG Zhaomin New Knowledge on Geology of Kashi Depression in Southwest Tarim [J]. *Xinjiang Geology*, 2003, 21 (1): 78-84
- HAO Yichun, GUO Xianpu Cretaceous-Palaeocene foraminifera communities from the Western Tarim Basin and their environmental significance [J]. *China Univ. Geosc.*, 1990, 1 (1): 34-42
- JIA Chengzao The tectonic characteristics and petroleum of the Tarim basin [M]. Petroleum Press, Beijing, 1997, 348-357.
- ZHANG Chaojun TIAN Zaiyi Tertiary Salt Structures and Hydrocarbons in Kuche Depression of Tarim basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1998, 19 (1): 6-10
- QU Fangqiang, DING Yong, WANG Hui Source Analysis on Deposits of Kuche Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 2000, 18 (3): 252-257.
- LI N Yaoting Metamorphism of Triassic Salt Depositions in Sichuan Basin and Its Guide to Prospecting for Potash Resources [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 1995, 17 (2): 93-102
- HAO Yichun, GUAN Shaozeng, YE Liusheng, et al Neogene Stratigraphy and Palaeogeography in the Western Tarim Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76 (3): 289-297.
- CHEN Ronglin, FAN Ming, MA Hongqiang Oil-gas Exploration and Tertiary Salt Deposition in Northern Tarim Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 2001, 19 (2): 107-110
- CHEN Chuming, LU Huafu, JIA Dong, et al Neogene Quaternary Sedimentary Features, Structural Deformation of the Tarim Basin and its Petroleum Geological Significances [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16 (2): 113-116
- TANG Liangjie, JIA Chengao, PI Xuejun, et al Salt-related structural styles of Kuqa foreland fold belt,

- northern Tarim basin [J]. Science in China Series D, 2004, 47 (10): 886-895
- LIU Hefu Classification of Foreland Basins and Fold Thrust Style [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2 (3): 59-68
- ZHANG Yundong, SONG Jianguo, ZHU Rukai Characteristics of Sedimentary Facies and Lithofacies Paleogeography of Upper Tertiary in Southwest Depression, Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20 (2): 123-126
- ZHENG Mianping, QI Wen, ZHANG Yongsheng Present situation of potash resources and direction of potash search in China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (11): 1239-1246
- TAN Hongbing, MA Haizhou, XIAO Yingkai, et al Characteristics of chlorine isotope distribution and analysis on sylvinite deposit formation based on ancient salt rock in the western Tarim Basin [J]. Science in China Series D-Earth Sciences, 2005, 48 (11): 1913-1920
- TAN Hongbing, MA Haizhou, XU Jianxin, et al Isotope Geochemistry of Ancient Salt Rocks and Prognosis of Sylvinite Deposits in Western Tarim Basin [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2005, 26 (B09): 174-179
- TAN Hongbing, MA Wandong, MA Haizhou, et al Hydrochemical characteristics of brines and application to locating potassium in western Tarim Basin [J]. Geochimica, 2004, 33 (2): 152-158
- TAN Hongbing, MA Haizhou, MA Wandong, et al Research on Geological and Geochemical Characteristics of Paleo-Salt Rock and its Potash ore Formation in Western Tarim Basin [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23 (3): 194-199
- MA Wandong, MA Haizhou Geochemical Characteristics on Brine and Potash Perspective in the Western Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24 (1): 96-106
- MA Wandong, SUN Guofang Brine geochemistry and prediction of potash formation at salt occurrences in the western Tarim Basin [J]. Geology in China, 2007, 34 (4): 636-641
- WANG Mili, LIU Chenglin, JIAO Pengcheng Investigation and Scientific Research Progress and Exploitation Present Situation of Lop Nur Salty Lake Potash Deposits, Xinjiang, China [J]. Geological Review, 2006, 52 (6): 757-764

Geological Evolution and Advance of Seeking Potash in Tarim Basin

MA Wandong^{1,2,3}, MA Haizhou⁴

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, CAS, Yantai 264003, China; 2. Institute of Oceanology, CAS, Qingdao 266071, China; 3. Graduate School of CAS, Beijing 100049, China; 4. Qinghai Institute of Salt Lakes, CAS, Xining 810008, China)

Abstract: The potash-resource status of our country is described in this paper. The distribution and forming disciplines of large potash deposits in the world are concluded: foundation of substance, geological constructions, facies and paleo-geography conditions and special climate. The general situations and the history of the geological evolution of Tarim basin between the late Cretaceous Period and the early Tertiary are analyzed. Then it analyzes the characters of the facies of the late Cretaceous Period and the early Tertiary. And two concentration centers—Kuche sag and Tarim southwest sag are achieved. This paper also reviews the status of seeking potash deposits in Tarim basin. A favorable geological foundation is set up for seeking potash deposits.

Key words: Tarim basin; the late Cretaceous; the early Tertiary; geological evolution; potash deposits