兰坪一思茅盆地与呵叻高原钾盐矿床综合对比

韩元红¹²,马海州¹,袁小龙¹²,张西营¹²,高东林¹

(1. 中国科学院青海盐湖研究所,青海 西宁 810008;2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘 要: 云南兰坪一思茅盆地与泰国 – 老挝呵叻高原处于同一构造带,两者在钾盐成矿及成因各方面都有 着很大的相似性。通过对兰坪一思茅盆地与呵叻高原成矿地质背景、成盐时代、成盐物源和环境、沉积和地 球化学特征等多方面对比分析,系统阐述了二者的异同,重点强调了存在的差异性,提出了一些今后开展工 作的意见和建议。

关键词: 兰坪—思茅盆地; 呵叻高原; 钾盐矿床; 综合对比

中图分类号: P619: 211 文献标识码: A 文章编号: 1008 - 858X(2011) 03 - 0001 - 07

前 言

近年来随着国家对钾盐需求量的加大以及 钾盐工业的进一步发展,我国与国际上这一方 面的合作力度也进一步加大,云南兰坪—思茅 盆地成为我国当前找钾的重点区域,通过兰坪 思茅盆地和呵叻高原对比研究,可为找钾提供 科学依据。我国一些学者^[1-3],曾做过两者的 对比研究,然而这些研究多是从两者的相同点 出发,忽略了两者在区域次级凹陷、成矿特征、 成矿演化、钾盐沉积特征等方面存在的差异。 本文在进一步深入认识两者相似性的同时,重 点分析其差异性,提出了两个盆地目前存在争 议又急需解决的问题,这些问题的解决有利于 提高对兰坪—思茅盆地的形成演化和成矿作用 的认识,实现钾盐找矿的重大突破。

区域地质背景及其对成矿与保 存条件的控制

任何地质矿产的开发都离不开地质背景研 究,大地构造轮廓是控制蒸发盐沉积时期变化 的重要因素^[4],而两个矿床的同源性研究,更 要从地质背景的联系和区别入手。我国兰坪— 思茅盆地北与昌都盆地相接,向南延入老挝、泰 国境内与呵叻盆地毗邻,它们共同组成了一个 规模巨大的裂谷盆地系^[1]。但是盆地内部的 次级凹陷及其构造成因方面存在很大差异,是 成矿与保存条件的主控因素,进一步弄清楚这 些问题,对于我国兰坪—思茅盆地找钾很重要。

1.1 呵叻高原

呵叻高原构造上属于印支稳定地块的一部 分,位于泰国东北部和老挝中部,其北、西、南三 面分别被湄公河大断裂、南乌江深大断裂和柬 埔寨大断裂包围(图1)。近东西走向的普潘隆 起将整个高原分为两个盆地,南部的呵叻盆地 和北部的沙空那空盆地^[5]。高原边缘以褶皱 为主,呵叻盆地和沙空那空盆地是相对较低的 凹陷地带。区内地层岩石构造变形较为简单, 主要出露中生代地层,包括上三叠的南邦群、侏 罗系 - 白垩系的呵叻群等,其中钾盐矿层主要 发现在白垩纪,地层年代整体来说,越往盆地中 心越新^[6]。

收稿日期:2011-03-25

基金项目:国家自然科学基金项目(40903014);国家重点基础研究发展计划项目(2011CB403004) 作者简介:韩元红(1988 –),女,硕士研究生,主要研究方向为盐湖地球化学。





Fig. 1 Geological sketch map of Khorat plateau

1.2 云南兰坪一思茅盆地

云南西部的兰坪一思茅盆地位于中三叠世 发展起来的一个陆内多旋回叠合盆地中,其形 成演化与深部过程有密切的关系^[7]。构造演 化经历了陆内裂谷盆地 $(T_3 - J_1)$ 一坳陷盆地 $(J_2 - K_1)$ 一前陆盆地(K)一走滑盆地(E)的复 杂演化过程,内部中、新生代盆地位于不同壳体 接合带上,东、西缘分别被苍山一哀牢山断裂带 和澜沧江断裂带围限(图2),呈北北西向狭长 状沿兰坪一思茅纵轴方向展布^[8]。

呵叻高原位于稳定的印支地块之上,内部 构造活动不强烈,成盐过程中及成盐后都没有 受到构造活动的强烈影响,钾盐沉积序列完整, 在整个盆地中分布连续,地层完整且矿层保存 较好,矿层主要受盐构造影响而富集在盐背斜 的轴部附近^[9]。兰坪—思茅盆地后期构造活 动强烈,钾盐的沉积和保存条件相对呵叻高原 要差,成盐序列在整个地区都不完整,一方面受 到构造活动的影响导致成盐盆地强烈褶皱变 形;另一方面则是在构造的基础上叠加了后期 盐体塑性流动的影响,分布极不连续。兰坪— 思茅盆地沉积序列、成(盐)矿厚度及矿层分布



图 2 呵叻高原及其邻区构造分布图^[8]

Fig. 2 Tectonic map of Khorat plateau and its adjacent regions

等很难同呵叻高原进行对比。

2 成盐时代对比研究

根据兰坪—思茅盆地古生物化石的研究, 一般认为勐野井组属于古新世^[1]。呵叻高原 从古生代到中生代都有蒸发岩矿床沉积,范围 最广的发生在中生代,而白垩纪的矿床最为人 熟知^[10]。最初对于马哈沙拉堪组含钾盐层年 龄的测定是通过对动物化石恢复动物群落而推 测得出的[11],后来基于含盐系古孢粉类型研 究,含盐系地层的时代应介于下白垩统阿尔布 阶-上白垩统赛诺曼阶之间(112.0±1.0~ 93.5±0.8 Ma),属于晚白垩世^[12-15]。根据硬 石膏中 S、O 同位素的范围,有人认为可能其 形成年龄不会晚于土伦阶(89.3 ± 1.0 Ma), 目前多把呵叻高原的钾盐沉积作为典型的白垩 纪(晚白垩世)海相蒸发盐放到显生宙的框 架内加以研究[16-20],兰坪—思茅盆地和呵叻 高原钾盐矿床是否为同一成盐时代尚有较大争 议∘

3 成矿物质来源与成盐环境

由于勐野井周围不存在含钾较高的岩石, 也不具备大面积汇水聚钾等现代含钾湖泊的特 点,故目前一般认为其成钾物质来自海水^[24]。 帅开业^[25]认为勐野井钾盐矿床是海水经过深 循环变质为氯化物型卤水后,在新增大陆边缘 裂谷盆地形成的"高山深盆"陆相环境下蒸发 而成的。元素和同位素地球化学等证据表明, 思茅盆地的成盐成钾物质很可能来自海 水^[2,26],而石盐包裹体测温揭示该地区在成盐 期及成盐后还可能受到火山物质及深部热卤水 掺杂作用的影响^[27-28]。

呵叻高原蒸发岩的物源和成因是一个存在 争议和不断深入认识的过程。基于石盐中 Br、 石膏中的 S 元素地球化学等的研究,一般认为 成盐物质来自海水,钾盐矿床为海相沉 积^[2 5,10 23]。李善平等通过将老挝蒸发层序与 我国柴达木盆地和罗布泊蒸发沉积层序的比 较认为钾盐矿床成矿物质来源主要为海 水^[29]。Sundharovat^[30]认为泰国东北部钾盐的 起源与呵叻群的岩石翘曲、海侵以及在晚第三 纪或更新世的蒸发岩沉积有关。Thiramongkol^[31]认为岩盐是在晚白垩世的内陆海或泻湖 环境中沉积的 并且在后来受到造陆运动的影 响。曲懿华将呵叻盆地定义为大型海源碎屑岩 型钾盐沉积盆地^[32]。然而也有文章通过对含 盐系地层沉积相及沉积地层特征的研究 加上 晚白垩时期呵叻地区没有封闭海的存在,以及 缺少硫酸镁盐的事实,认为其成盐成矿物质可 能来自大陆^[33-35]。

通过研究对比表明,在成矿物质来源和成 盐环境方面二者还存在较大的争议,需要进一 步开展构造、成盐期的气候和古湖水演变历史、 微量元素地球化学特征^[30_36-37] 等方面的研究 来探讨物源和沉积环境。

4 钾盐矿床特征对比

4.1 矿物组成对比

呵叻高原和兰坪—思茅盆地钾盐矿床中的 盐类矿物主要为氯化物,次为硫酸盐,同时还含 有少量碳酸盐和硼酸盐(见表1)。呵叻高原钾 盐矿床中的硼酸盐主要是方硼石、水氯硼钙石 和硼镁石^[17,38],兰坪—思茅盆地主要为方硼石 和副水氯硼钙石,两者略有差异^[1]。此外,两 个地区的钾盐矿床成盐序列中都缺少 MgSO₄ 盐,这可能是由于白垩纪以来大洋中脊热液流 体组分改变和海底扩张作用使古海水组分发生 变化造成的^[19,39]。

在矿石类型方面二者有明显差别。呵叻高 原以光卤石岩为主,钾石盐岩次之;而兰坪一思 茅盆地则以钾石盐为主,光卤石岩很少。曲懿 华^[32]认为,在光卤石层之下的钾石盐为原生沉 积成因,该层之顶部的钾石盐为后生淋滤成因。

呵叻高原老挝万象盆地钾盐矿床中大量产 出溢晶石,被认为是成矿母卤曾受到过变质作 用^[21]。溢晶石在世界其它钾盐矿床中也有发 现^[22],对其形成原因的解释很可能是揭示该类 型卤水演化的关键。El Tabakh 等认为这是由 于岩盐置换石膏,钙离子被释放出来导致的,或 是由于早期热液输入到富氯化钙的水中形成 的^[17]。Lowenstein 等则认为是地表水、地下卤 水和深部热液水按一定的比例掺杂作用的产 物^[23],属于非海相成因。总之,溢晶石的形成 与成盐卤水的变质作用有关。

表 1	兰坪-	-忠矛盆地-	与呵叨局	原成钾盆	地盐奀斪	物组合-	一觉
~ ~			7.01.00100				2

Table 1 Comparison of mineral assemblages between Khorat plateau and Lanping-Simao basin

	兰坪一思茅盆地	呵叻高原成钾盆地
氯化物	石盐、钾石盐、光卤石、钾铁盐、氯氧镁铝石	石盐、钾石盐、光卤石、水氯镁石、溢晶石
硫酸盐	石膏、硬石膏、天青石、钙芒硝、半水石膏、硫锶钾石	石膏、硬石膏
碳酸盐	方解石、白云石、菱镁矿	白云石、菱镁矿
硼酸盐	方硼石、副水氯硼钙石	方硼石、水氯硼钙石、硼镁石[17]

上泥砾岩盐段	上覆碎屑层	被剥蚀?
	上盐段	
淡化碎屑岩层	中段碎屑岩层	行论进行
下泥砾岩盐段	中盐段	上泥砾岩盐段
	311	使用的心
	下段碎屑岩层	淡化碎屑岩层
	新花的同志	
未 打 穿?		下泥砾岩盐段
	下 盐 段	100 Ande Maria
		in the stag
Α	B	C

图 3 呵叻盆地(中)和兰坪一思茅盆地(左、右)地 层对比

Fig. 3 Stratigraphy comparison between Khorat plateau(middle) and Lanping-Simao(left and right) basin

4.2 沉积旋回和成盐期次对比

呵叻高原赋钾蒸发岩地层可分为3个明显 的成盐期次,即上、中、下盐组,其中钾镁盐矿体 主要赋存在下盐段盐层的最顶部(图3)。兰 坪-思茅盆地具有多期成盐的特点,包括晚三 叠世、早侏罗世、中侏罗世和古新世4个成盐时 期,但仅在古新统勐野井组(思茅凹陷)或云龙 组(兰坪凹陷)发现了钾盐矿床,且只发现了 上、下两个盐组^[1]。

根据含盐地层的沉积特征,曲懿华等^[12] 早期认为勐野井组的上、下含盐地层可能分别 与呵叻高原马哈萨拉堪组(塔贡组)的中、下含 盐段对比 因我国构造复杂、地势较高,呵叻高 原卤水没有持续流入 故缺失上盐组沉积。沙 空那空盆地钻孔资料证实 该地区上盐组厚度 很薄 且多为岩盐次生淋滤后形成的石膏 这充 分表明呵叻盆地北部上盐组卤水已很浅,而我 国兰坪—思茅盆地当时很可能已暴露于水面之 上。兰坪一思茅盆地上盐段也有可能在成盐之 后被剥蚀掉了。后来,又将上下两个盐段与马 哈沙拉堪组的上、中盐段对应,认为勐野井组下 盐组应该是存在的,只是尚未打穿^[21],并认为 云南勐腊、勐伴地区主要含盐系即为未打穿的 下含盐系 ,与呵叻高原主要含钾层下含盐系相 对应 ,是今后的目的层^[40]。如图 3 中 ,B – C 为 早期研究对应(缺失说),而A-B为后期研究 对应(未打穿说)。

关于呵叻高原与兰坪一思茅盆地含盐地层 的对比问题目前尚无统一认识。勐野井组(云 龙组)和马哈萨拉堪组(塔贡组)在成盐期次上 尚不能明确其对应关系,思茅盆地绝大多数钻 孔并未打穿含盐系^[1],有必要通过钻探或地球 物理方法等进一步查清兰坪一思茅盆成盐期次 和主成矿期。

表 2 呵叨盆地和三坪忠矛盆地钾盐沉积旋回)

Table 2	Comparison of	sedimentary	cycles	between	Khorat	plateau	and	Lanping	-Simao	basin

	上盐段	中盐段	下盐段
呵叻盆地	绝大多数钻孔都存在(膏岩, 少数为岩盐)	绝大多数钻孔都存在(岩盐 ,局部 有钾盐矿化)	钾盐赋存层位
沙空那空盆地	同上	同上	同上
兰坪盆地	缺失或尚未发现	有沉积	尚未发现
思茅盆地	缺失或尚未发现	有沉积(钾盐赋存层位)	有沉积(仅见于1个钻孔)

4.3 含盐系沉积特征对比

1) 呵叻高原 马哈沙拉堪组(塔贡组)是
 呵叻盆地唯一的含钾岩系,由紫红色碎屑岩
 (粘土岩、粉砂岩、细砂岩)和蒸发岩类(石盐、

光卤石、钾石盐、溢晶石、水氯镁石等)构成^[3]。 膏盐层与陆源碎屑岩组成3个明显的蒸发岩— 硅质碎屑沉积旋回,多数钻孔各旋回之间呈整 合接触(表2)。单一旋回的沉积层序(韵律) 为石盐(钾镁盐)—硬石膏—碎屑岩(泥岩、泥 质粉砂岩)。含盐建造中、下盐段韵律发育较 完全,上盐段发育不完全。含盐建造底部为基 底硬石膏岩,其与下伏灰绿色石英砂岩呈假整 合接触。呵叻高原马哈沙拉堪组钾盐成盐韵律 表现为典型的二韵素韵律,即石盐岩一钾岩 盐一石盐岩^[41]。



 紫红色泥砾石盐岩; 2. 青灰色石盐岩; 3. 青灰色钾石盐 岩; 4. 灰绿色泥砾钾石盐岩; 5. 五色石盐岩; 6. 无色、青 灰、浅黄色钾石盐岩; 7. 无色、浅橙红色光卤石岩
 图 4 兰坪—思茅盆地勐野井组和呵叻高原马哈萨 拉堪组成盐韵律对比

Fig. 4 Comparison of salt rhythm between Mengyejing formation in Lanping-Simao basin and Mahasarakam formation in Khorat plateau

2) 兰坪—思茅盆地 具有代表性的钻孔 少 含盐系地层划分形式多样。曲懿华等[1]将 勐野井组含盐系地层分为4层:上、中、下3段, 上段又被分为两个亚层。张建林^[42] 通过对机 械碎屑岩和化学蒸发岩沉积混合组成的分析划 分出3个明显的沉积韵律或旋回。王猛等^[3]又 将勐野井组在剖面上划分为淡化一咸化一淡化 蒸发沉积旋回。因此,有必要将该盆地多个钻 孔进行对比,并将含盐系地层划分进行统一。 钾岩层的成钾韵素多、韵律多样、盐层薄。该区 域成盐韵律各处不同 /钾盐层薄而贫 最常见的 韵律为紫红色泥砾石盐岩一青灰、青白色石盐 岩一青灰色钾盐岩一灰绿色泥砾钾盐岩一青灰 色钾盐岩--青灰、青白色石盐岩--紫红色泥砾 石盐岩,呈对称韵律出现^[1](见图4)。砾石、砾 屑和盐矿物混杂后在盐层中夹杂分散产出。勐

野井矿由多阶段成矿形成,在石盐岩和钾石盐 析出的同时有很多陆源碎屑物的加入,再加上 盐盆地构造运动周期性地由活动趋向稳定,使 得兰坪—思茅盆地中砾石、砾屑和盐矿物有规 律但无分选混杂在一起,并在盐层中夹杂且分 散产出,这是该盆地的一大特色^[2]。

综合来看,阿叻高原赋钾蒸发岩旋回和成 盐期次非常清楚,在相当广泛的范围内基本都 可以很好地对比;相比而言,兰坪一思茅盆地含 盐地层由于侧向相变剧烈,大的旋回较清楚,区 域上也基本可以对比,但次级旋回或韵律层则 很难在大的区域上进行对比。二者的矿物特征 基本一致,都是缺失 MgSO4 盐的沉积类型^[43], 但主要矿物和副矿物还是存在一些差异,这些 差异可能代表了原始沉积的不同,也可能是后 期改造或地质作用的不同造成的。

5 Br 地球化学特征对比

盐类沉积中氯化物型矿物中的 Br 含量可 提供盐矿的成因、沉积环境、赋存形式、物质 来源^[1 2 21-23 28 44]等信息。在化学沉积含氯矿 物中,溴是最重要的示踪元素^[45]。卤水在不 同浓缩阶段,析出的盐类矿物(石盐、钾盐 等)中的 Br 含量是不同的^[2]。Br 含量的变化 可以反映不同的成盐阶段,还可以指示钾盐矿 的物源或反映钾盐成矿后不同水体对钾盐矿的 改造作用^[46-50]。Br 在盐类矿物中的分配和热 力学模型研究可用来评价古海水或古卤水的组 分,对认识钾盐矿床的形成和演化也很有意 义^[51]。

通过对呵叻高原和云南勐野井钾盐矿床盐 类矿物中的 Br 含量的对比(表 3),可以看出二 者具有一定的可对比性。呵叻高原主要为光卤 石矿床 除钾石盐低 Br 外,石盐和光卤石中 Br 都达到理论值。勐野井为钾石盐矿床,所以石 盐中 Br 平均值略低于呵叻高原,但都与正常海 水蒸发析出石盐和钾石盐中的理论值相当,可 视为盐类物质是以海水为主要补给来源的依 据^[2]。但勐野井矿床中钾石盐 Br 含量太高,远 比呵叻高原的要高,这是否与其在沉积时卤水 温度较高有关系尚待进一步研究。

表 3 钾盐矿床不同盐类矿物中 Br 含量^[2 29]

Table 3 Br content in different salt minerals in potash deposits

	石盐中 Br/×10 ⁻⁶		钾石盐中 B	$r/ \times 10^{-6}$	光卤石中 Br/×10 ⁻⁶		
10////	低~高	平均	低~高	平均	平均		
勐野井	30 ~ 288	127	722 ~2 880	1 739	1 399		
呵叻高原	40 ~ 388		260 ~ 980		4 700		

6 结论和讨论

我国云南兰坪—思茅成钾盆地在大地构造 背景、成矿年代、沉积特征、盐类矿物组合特征 及 Br 地球化学特征等方面与呵叻高原有较好 的可对比性,同时也存在较大的差异,这可能与 二者构造背景不同、沉积环境不同、后期改造程 度不同等因素有关。由上面的论述可以发现, 在二者的对比上还存在诸多疑问。成矿物源到 底来自海水还是陆地水或深部水?二者的成盐 时代为何差别较大? 成盐期次是否可以对比? 因此,有必要对兰坪—思茅地区开展较大规模 的钻探验证工作,同时也应对兰坪—思茅盆地 和呵叻高原之间的过渡区域(主要是老挝北部 山区)开展系统研究,从地层学、岩石学和年代 学方面找到二者存在或不存在关联的直接证 据。

总而言之,呵叻高原巨型钾盐矿床是一个 很好的参比对象,对其深入研究能为在我国境 内找到大型钾盐矿床奠定良好的基础,从而回 答我国云南兰坪—思茅盆地能否找到大型钾盐 矿床这一重要的科学问题。

参考文献:

- [1] 曲懿华,袁品泉,帅开业,等.兰坪一思茅盆地钾盐成矿 规律及预测[M].北京:地质出版社,1998.
- [2] 许效松 ,吴嘉陵.云南勐野井钾盐矿床特征,微量元素 地球化学及成因探讨[C].中国地质科学院文集(5). 1983.
- [3] 王猛,韦昌山.呵叻盆地与兰坪一思茅盆地钾盐成矿特 征对比及区域找矿启示[C].第八届全国矿床会议论文 集.北京:地质出版社 2006.
- [4] Vysotskiy E A ,Makhnach A A ,Peryt T M *et al.* Marine and continental lower permian evaporites of the Prypiac' Trough (Belarus) [J]. Sedimentary Geology ,2004 ,172 (1 2): 211 222.

- [5] Hite R J. Potash deposits of the Korat piateau ,Thailand and Laos [J]. Economic Geology ,1979 ,74(2):48-458.
- [6] 钟维敷,李志伟,单卫国.呵叻盆地钾镁盐矿沉积特征 及成因探讨[J].云南地质 2003 22(2):142-150.
- [7] 尹汉辉,范蔚茗,林舸.云南兰坪—思茅地洼盆地演化 的深部因素及幔 - 壳复合成矿作用[J].大地构造与成 矿学,1990,14(2):113-124.
- [8] 钱自强,曲一华,刘群. 钾盐矿床[M]. 北京: 地质出版 社,1994.
- [9] 张西营,马海州,谭红兵,等.沙空那空盆地东缘钾盐矿 床盐构造和地球化学特征[C].第九届全国矿床学会议 论文集.北京:地质出版社 2008:390-392.
- [10] Hite R J ,Japakasetr T. Evaporate deposits of the Korat plateau ,northeastern Thailand [C]. Columbus: Fouth international symposium on Saift-Northern Ohio Geological Society , 1974: 135 – 146.
- [11] Gardner L S , Haworth H F , Na Chiangmai P. Salt resources of Thailand [J]. Thailand Dept. Mineral Resources , 1967(11):100.
- [12] Sattayarak N , Polachan S , Charusirisawad R. Cretaceous rock salt in the northeastern part of Thailand [C]. Bangkok: GEOSEA VII ,1991:5-8.
- [13] Harris R W. Palynology of the Phu Horm 1 well [R]. Bangkok: ESSO Department of Mineral Resources ,1977.
- [14] Racey A , Goodall J , G S. Palynology and stratigraphy of the Mesozoic Khorat Group red bed sequences from Thailand [J]. The Geological Society , London , Special Publications , 2009(315):69-83.
- [15] Klaus W. Utilization of spores in evaporate studies [J]. Third Symposium on Salt , 1969(1): 30 - 33.
- [16] El Tabakh M, Schreiber B C, Utha-Aroon C, et al. Diagenetic origin of Basal Anhydrite in the Cretaceous Maha Sarakham salt: Khorat Plateau, NE Thailand [J]. Sedimentology, 1998, 45(3): 579 – 594.
- [17] El Tabakh M , Utha-Aroon C , Schreiber B C. Sedimentology of the Cretaceous Maha Sarakham evaporites in the Khorat Plateau of northeastern Thailand [J]. Sedimentary Geology , 1999 , 123(1-2): 31-62.
- [18] Siemann M G. Extensive and rapid changes in seawater chemistry during the Phanerozoic: evidence from Br contents in basal halite [J]. Terra Nova, 2003, 15(4): 243-248.

- [19] Timofeeff M N, Lowenstein T K, Martins da Silva M A, et al. Secular variation in the major-ion chemistry of seawater: evidence from fluid inclusions in Cretaceous halites
 [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta ,2006 ,70(80): 1977 – 1994.
- [20] Eastoe C J, Peryt T M, Petrychenko O Y, et al. Stable chlorine isotopes in Phanerozoic evaporates [J]. Applied Geochemistry, 2007, 22(3): 575 – 588.
- [21] 曲懿华.兰坪一思茅盆地与泰国呵叻盆地含钾卤水同 源性研究[J].化工矿产地质,1997,19(2):81-84.
- [22] Hardie L A. The roles of rifling and hydrothermal CaCl₂ brines in the origin of potash evaporites: a hypothesis [J]. American Journal of Science, 1999(290):43 – 106.
- [23] Lowenstein T K , Spencer R J , Pengxi. Z. Origin of Ancient Potash Evaporites: Clues from the Modem Nonmarine Qaidam Basin of Western China [J]. Science , 1989 ,4222(245): 1090 – 1092.
- [24] Tan H B , Ma H Z , Li B K *et al.* Strontium and boron isotopic constraint on the marine origin of the Khammuane potash deposits in southeastern Laos [J]. Chinese Science bulletin 2010 55(27-28): 3181 – 3188.
- [25] 帅开业.云南中、新生代地质构造演化与蒸发岩建造[J].现代地质,1987,1(2):207-229.
- [26] 云南省地质矿产局,等.云南思茅盐矿地质[M].北 京:地质出版社.1986.
- [27] 张芳 耿文辉,王滋平.兰坪思茅盆地石盐矿床盐矿物 包裹体特征[J].矿产与地质,2001,15(82):113-115.
- [28] 张从伟 高东林,马海州,等.兰坪一思茅盆地钾盐矿 床的物质来源探讨[J].盐湖研究,2010,18(4);12-18.
- [29] 李善平,马海州,陈有顺,等.老挝万象盆地钾盐矿床 微量元素地球化学特征及矿床的成因[J].地质通报, 2010 29(5):760-769.
- [30] Sundharovat S. Potash in E Sam , Min [J]. Resour. Gazette , 1976 , 21(11):1–8.
- [31] Thiramongkol N. Some Suggestions of potash and rock salt geneses in NE region, Min[J]. Resour. Gazette, 1978, 21(8): 25-40.
- [32] 曲懿华.泰国呵叻盐盆地(含老挝)钾石盐成矿机理初 探[J].中国钾盐 2010(6):16-18.
- [33] Utha-Aroon C. Continental origin of the Maha Sarakham evaporites, northeastern Thailand [J]. Journal of Southeast Asia Earth Sciences, 1993, 8(1-4): 193-203.
- [34] Donald E G. Potash Deposits, Processing, Properties and Uses [M]. London: Chapman and Hall, 1996.
- [35] Warren J K. Evaporites: Their Evolution and Economics[M]. Hoboken: Wiley Blackwell 1999, 235 239.
- [36] Warren J K. Evaporites through time: Tectonic , climatic

and eustatic controls in marine and nonmarine deposits [J]. Earth-Science Reviews , 2010 , 98(3-4): 217 – 268.

- [37] Hardie L A. Evaporites: marine or non morine? [J]. American Journal of Science. 1984(284): 193 – 240.
- [38] Crosby K S. Geology of the Udon Thani Potash (sylvinite) deposits with an overview for development of a sustainable potash resource for Thailand [C]. Bangkok: GEOTHAI' 07 International Conference on Geology of Thailand: To-wards Sustainable Development and Sufficiency Economy , 2007: 96 103.
- [39] 程怀德,马海州,山发寿,等.基于相化学研究老挝万象钾镁盐矿床形成的机制[J].地球学报,2010,31
 (2):194-202.
- [40] 曲懿华,刘群.探讨解决我国钾肥短缺的途径和找矿 工作中应注意的问题[J].中国钾盐,2009(5):32-34.
- [41] Yumuang S , Khantaprab C , Taiyagupt M. The evaporate deposites in Bamnet Narong area in Northeastern Thailand
 [J]. Geology Society , Malaysia , Bulletin20 ,1986(2): 249 267.
- [42] 张建林. 中国 老挝古近纪钾盐矿对比[J]. 云南地 质 2006 25(3): 309 361.
- [43] 四川省地质局第七普查大队. 钾盐地质学习资料选编 [R]. 成都: 四川省地质局第七普查大队, 1975.
- [44] 董继和.石盐中微量元素的研究及其应用[J].矿物 学报,1984 5(1):29-30.
- [45] Richter-Bernburg G. Geology of saline deposits [C]. International Union of Geological Sciences: Proceedings of the Hanover ,1972(15-27):77-88.
- [46] 程怀德,马海州,谭红兵,等. 钾盐矿床中 Br 的地球化 学特征及研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008,27(4):399-408.
- [47] 程怀德, 马海州, 张志宏, 等.光卤石完全淋滤溶解过程中Br, Rb分配变化研究[J].矿物岩石, 2009, 29
 (3):12-19.
- [48] 许建新. 云南勐野井钾盐矿床地球化学与成因研究 [D]. 西宁: 中国科学院盐湖研究所 2008.
- [49] 林耀庭. 溴的地球化学习性及其在四川找钾工作中的 应用[J]. 化工矿产地质,1995,17(3):175-181.
- [50] 张西营,马海州,谭红兵,等.老挝东泰钾盐矿床地球 化学及其沉积后变化初步研究[J].矿床地质,2010, 29(4):713-721.
- [51] 张嘉澎 李官贤.云南江城勋野井钾盐矿床地质特征 [C]//云南省地质局钾盐地质科学研究队.云南思茅 地区钾盐地质研究论文集.昆明:云南省地质局出版 社,1980:38.44.

(下转第25页)

the record of δ^{18} O in the core QH – 2000. Between 14 ~ 12 ka BP, the elevation was 12.3 m higher than today(3 193.4 m); 12 ~ 10 ka BP, the lake level dropped sharply to about 3 165m; 10 ~ 9 ka BP, the lake level began to rise, but not exceeding 3 173 m; 9 ~ 6 ka BP, the lake level was relatively stable at about 3 213 m; 6 ~ 4 ka BP, the lake level may droped below the modern lake; 4 ~ 1 ka BP, the lake level was relative stable at about 3 193.7 m; and from 1 ka BP to now, the lake level showed a declining trendency.

Key words: Qinghai Lake; Oxygen isotope; The Last Deglaciation; Lake level fluctuations

(上接第7页)

Comprehensive Comparison of Potash Deposits in Lanping-Simao Basin and Khorat Plateau

HAN Yuan-hong^{1 2} ,MA Hai-zhou¹ ,YUAN Xiao-long^{1 2} ZHANG Xi-ying^{1 2} ,GAO Dong-lin¹

Qinghai Institute of Salt Lakes Chinese Academy of Sciences Xining \$10008 China;
 Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100039 China)

Abstract: Khorat plateau is located in northeast Thailand and middle Lao's , with the world's largest potash deposits. These deposits are characterized by shallow burying and great thickness. Lanping-Simao basin in China lies in the same tectonic zone with Khorat plateau. There are geat similarities in original and mineralization in two areas. Focused on the comparative studies on geological setting , evaporation time , provenance and environment , sedimentary characteristics ,Br geochemistry and other aspects , the similarities especially differences were systemically analyzed between two areas. At last , some valuable suggests have been put forward for the further work in these areas.

Key words: Lanping-Simao basin; Potash deposit; Khorat plateau; Comprehensive comparison