

云南兰坪—思茅盆地勐野井钾盐矿床物质组分 对成因的指示

高 翔, 方勤方, 姚 薇, 彭 强, 董 娟, 秦 红, 邱迎伟

中国地质大学(北京)科学研究院, 北京 100083

摘 要: 云南兰坪—思茅盆地勐野井钾盐矿床是我国目前唯一的古代固体钾盐矿床。长期以来一直认为该矿床为海源陆相成因, 也有人提出成矿物质还有其他来源, 但并未给出确凿的证据。为了查明该矿床的物源及成因, 本文采用 XRD、ICP-MS、电子探针(EPMA)和显微镜等方法对云南江城勐野井钾盐矿床物质组分进行研究, 并在此基础上, 对矿床的成因进行剖析, 指出成矿物质来源于两个方面。一为海水。微量元素 Br 在勐野井组盐层中的均值为 578×10^{-6} , 远大于 200×10^{-6} , 指示海源; 同时在底板扒沙河组石英砂岩中存在少量海相矿物——海绿石。二为深部热液。勐野井组灰绿色泥岩中存在大量富含钴镍的黄铁矿; 其次, 盐层裂隙的充填物出现含钴镍的羟碳钴镍石; 同时在扒沙河组砂岩中普遍见到含铜矿物——蓝铜矿和孔雀石等。由于该矿床地处强烈构造活动带, 这些富含 Cu、Co、Ni 的矿物指示, Cu、Co、Ni 等金属元素来源于深部热液。因此, 云南勐野井钾盐矿床除海水提供成矿物质外, 深部热液亦为矿床的形成提供了重要物源。

关键词: 成因; 深部热液; 海水; 勐野井钾盐矿床; 云南兰坪—思茅盆地

中图分类号: P588.247/04; P588.247/01 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2013.05.03

Genesis of the Mengyejing Potash Deposit in Lanping-Simao Basin, Yunnan: Indication from the Components of the Deposit

GAO Xiang, FANG Qin-fang, YAO Wei, PENG Qiang, DONG Juan, QIN Hong, DI Ying-wei

Institute of Earth Sciences, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083

Abstract: The Mengyejing potash deposit in Lanping-Simao Basin of Yunnan (MPDY) is an unique ancient solid potash deposit in China. For a long time, the deposit has been thought to be of continental sedimentary genesis with potassium derived from sea water. However, there are some researchers who hold that there existed other sources, but they have failed to present any evidence. In order to find out the source and origin of the deposit, the authors studied the component characteristics of the salt layer in Mengyejing Formation and its underlying Bashahe formation by XRD, ICP-MS, EPMA and microscopy in this paper, and pointed out that there existed two potassium sources for the deposit. The first was sea water because the average value of the trace element bromine (Br) in evaporates is 578×10^{-6} which is higher than 200×10^{-6} , indicating Br came from sea water. In addition, a small amount of marine mineral glauconite exists in quartz sandstone of lower Bashahe Formation. The second was deep hydrothermal solution, as evidenced by the existence of lots of pyrite rich in Co and Ni in grayish green mudstone of Mengyejing Formation. Furthermore, comblainite is one of the main mineral phases of fracture filling in the salt layer, and azurite and malachite that contain copper minerals were found in quartz sandstone of Bashahe Formation. The elements of Cu, Co and Ni in minerals were provided by deep hydrothermal solution because the

本文由国家“973”计划项目“中国陆块海相成钾规律及预测研究”(编号: 2011CB403004)资助。

收稿日期: 2013-05-06; 改回日期: 2013-07-18。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 高翔, 女, 1971 年生。副教授, 硕士生导师。主要从事矿物学方面的教学和科研工作。通讯地址: 100083, 北京市海淀区学院路 29 号。电话: 010-82322469。E-mail: xgao@cugb.edu.cn。

deposit was located in strongly active tectonic belts. Therefore, deep hydrothermal solution also provided important potassium sources for the Mengyejing potash deposit in addition to sea water.

Key words: genesis; deep hydrothermal solution; sea water; Mengyejing potash deposit; Lanping-Simao Basin, Yunnan

云南江城勐野井钾盐矿床是我国目前唯一的古代固体钾盐矿床,该矿床位于兰坪—思茅盆地。20世纪60年代初至90年代中期,国家曾多次组织相关部门和单位对该盆地开展了大量的调查和研究工作,取得了丰硕成果,在盆地的富钾层位江城县勐野井组,发现可供工业开采的小型固体钾盐矿床,盐类矿物组成以石盐、钾石盐为主,以及少量光卤石、菱镁矿、石膏、硬石膏、 α -方硼石和3A型氯硼钙石等(张嘉澍等,1980;许效松等,1992)。由于勐野井钾盐矿床是我国羌北—滇西盐类成矿带上的典型钾盐矿床,加之其前期地质工作基础和工作条件较好,被列入国家新一轮找钾的主要靶区之一(郑绵平等,2012),各方面成果不断涌现(袁秦等,2013;苗卫良等,2013)。但关于勐野井钾盐矿床的成因众说不一,主流观点认为是海源陆相(曲一华等,1998),也有人提出成矿物质还有其他来源(肖章程等,2009;张从伟等,2010),遗憾的是并未给出真实、确凿的实验数据用以支撑该观点。本文以该矿床含矿层位勐野井组及其底板扒沙河组的物质组分为研究主线,对矿床成因进行综合分析,以期获得有关矿床成因的真实、全面的信息。

云南江城勐野井钾盐矿床位于兰坪—思茅盆地,该盆地地处西部澜沧江缝合线与东部金沙江缝合线之间,受澜沧江深断裂和金沙江—哀牢山深断裂的夹持,呈北西—南东向带状展布(图1),地势为北高南低,且向南延伸进入老挝、泰国境内,与呵叻盆地相接。兰坪—思茅盆地蒸发盐矿床分布广泛,因中部马登凸起的存在,将盆地分为北段的兰坪凹陷和南段的思茅凹陷,并查明因受构造运动挤压的影响,呈现出盆地南部的含盐(钾)性优于北部的趋势。本研究区即位于南部思茅凹陷的江城县宝藏乡境内勐野井钾盐矿床。

勐野井钾盐矿床的矿石类型按颜色分为红钾、绿钾、青钾和薄层白钾四种(见图2)。前三者均为细晶结构,钾石盐是其中的主要钾盐矿物,呈浸染状分布于石盐颗粒之间,或沿盐裂隙充填呈细脉状产出。红钾、绿钾和青钾中钾石盐的含量范围为3~30 wt%,变化较大,这三类矿石在勐野井钾盐矿床中普遍存在,目前矿山开采的矿石主要是这三种类型。第四种白钾

为中粗晶结构,颗粒粗大,具重结晶特征,该白钾呈薄层状产出,钾石盐含量高达90 wt%,但此类矿石在勐野井钾盐矿床中所占的比例甚小。

下面就矿床的物质组分特征对矿床成因的指示做详细介绍。

1 样品采集和测试方法

本文所用盐层样品和泥岩样品取自勐野井井下670 m巷道、640 m巷道和628 m巷道,勐野井组底板砂岩样品取自地表扒沙河组石英砂岩露头剖面。共采集样品40个,用于如下分析测试。

采用X射线粉末衍射仪(XRD)对样品进行矿物相分析,仪器为日本理学公司的D/Max-RC型,笔

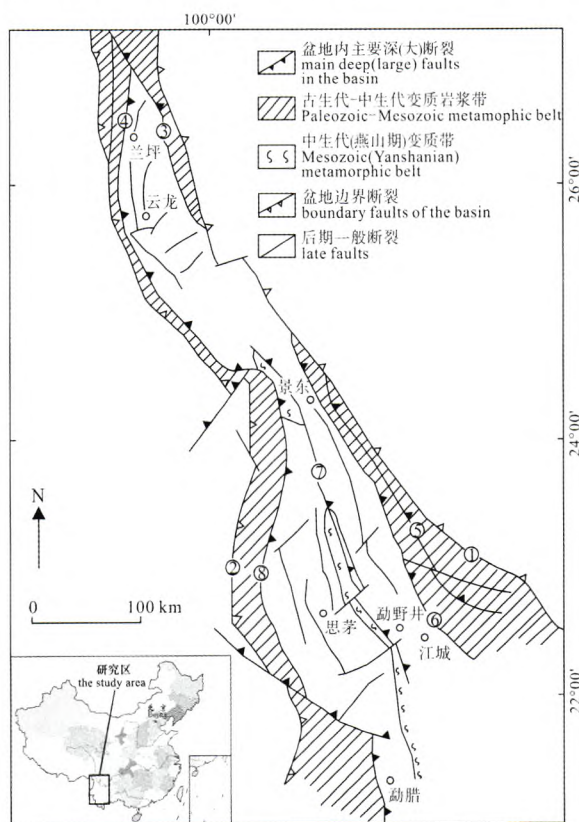


图1 云南兰坪—思茅盆地构造分布略图
(曲一华等,1998)

Fig. 1 Tectonic distribution in Lanping-Simao Basin
(after QU et al., 1998)

- ①-金沙江—哀牢山断裂; ②-澜沧江断裂; ③-乔后断裂; ④-旧州断裂; ⑤-安定断裂; ⑥-阿墨江断裂; ⑦-营盘山断裂; ⑧-民乐断裂
①-Jinshajiang-Ailao Shan fault; ②-Lancangjiang fault; ③-Qiaohou fault; ④-Jiuzhou fault; ⑤-Anding fault; ⑥-Amojiang fault; ⑦-Yingpanshan fault; ⑧-Minle fault

者在中国地质大学(北京)粉晶 X 射线衍射室完成。实验条件为: CuK α_1 , $\lambda=1.5406\text{ \AA}$, 石墨单色器, 管压 40 kV, 管流 100 mA, 连续扫描, 狭缝系统 DS=SS=1°, RS=0.3 mm, 扫描范围为 3°~70°, 扫描速度为 6°/min。用玛瑙乳钵将样品磨至 325 目, 装在玻璃凹槽样品座中压制成平板状待测。

微量元素采用质谱分析, 仪器为美国热电公司的 X-series 质谱仪, 由中国地质大学(北京)质谱分析室秦红工程师完成, 检出限为 $>0.05\times10^{-6}$ 。

电子探针微区化学成分分析(EPMA)在中国地质科学院矿产资源研究所矿物学与微束分析研究室陈正宇副研究员完成, 仪器型号为 JXA-8800R, 测试条件为: 电压 20 kV, 电流 20 mA, 束斑直径 5 μm 。将样品磨制为光薄片, 喷炭后待测。

岩石薄片的光学显微镜观察和鉴定由笔者在中国地质大学(北京)光学显微镜室完成。

2 成矿物质来源的证据

2.1 海水

2.1.1 微量元素 Br 值特征

在盐类矿床中 Br 是值得关注的微量元素, 它对于揭示矿床成因具有一定的指示作用。溴以 Br⁻形式赋存在海水中, 平均含量 $65\times10^{-6}\sim65.5\times10^{-6}$ (林耀庭, 1995), 随蒸发作用而富集, 不形成独立矿物, 与 Cl⁻呈类质同象进入盐类矿物的晶格中并形成固溶体。溴在成盐成矿作用中遵循一定规律, 其富集和分异在钾盐矿床中具有一定的指示意义, 盐类矿物中 Br 含量越高, 表明卤水浓缩的程度越高、形成盐类矿物的沉积阶段越晚, 越有利于最后沉积阶段钾盐类矿物的浓缩析出, 因此, 溴是判断沉积环境和研究卤水浓度的重要依据(许效松等, 1992)。曲一华(1995)依据典型海相钾盐矿床的资料指出, 当盐类矿物中的溴值均大于 200×10^{-6} , 指示卤水来源于蒸

发浓缩的海水。

本文就勐野井钾盐矿床井下 628 m 和 640 m 巷道盐层剖面样品的微量元素 Br 进行分析, 结果见

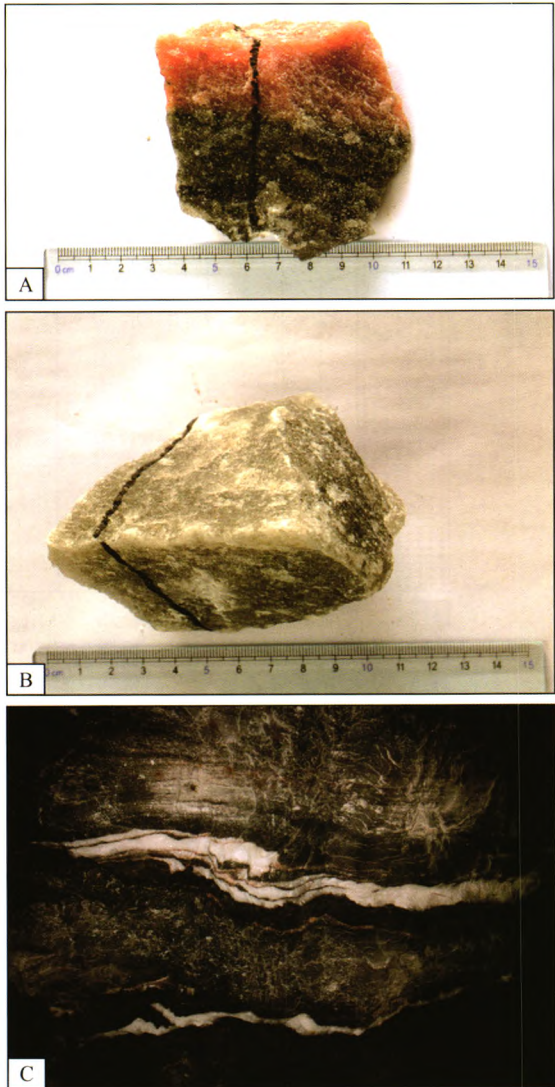


图 2 勐野井钾盐矿床中的四种矿石类型
Fig.2 Four types ore in Mengyejing Potash Deposit
A-红钾和绿钾; B-青钾; C-层状白钾
A-red and green sylvite; B-grayish green sylvite;
C-layer white sylvite

表 1 勐野井钾盐矿床 628 m 和 640 m 巷道盐层剖面的 Br 含量($\times10^{-6}$)											
Table 1 Br values at 628 m and 640 m tunnel salt layer sections in the Mengyejing potash deposit($\times10^{-6}$)											
628 m 巷道	样号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
	Br 值	604	233	168	260	207	290	466	345	394	496
	样号	11#	12#	13#	14#	15#	16#	17#	18#	19#	
	Br 值	375	540	1535	711	391	1498	1629	1338	258	
	平均值	618									
640 m 巷道	样号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
	Br 值	210	418	298	298	1886	263	227	1226	1200	200
	样号	11#	12#	13#							
	Br 值	212	169	143							
	平均值	519									

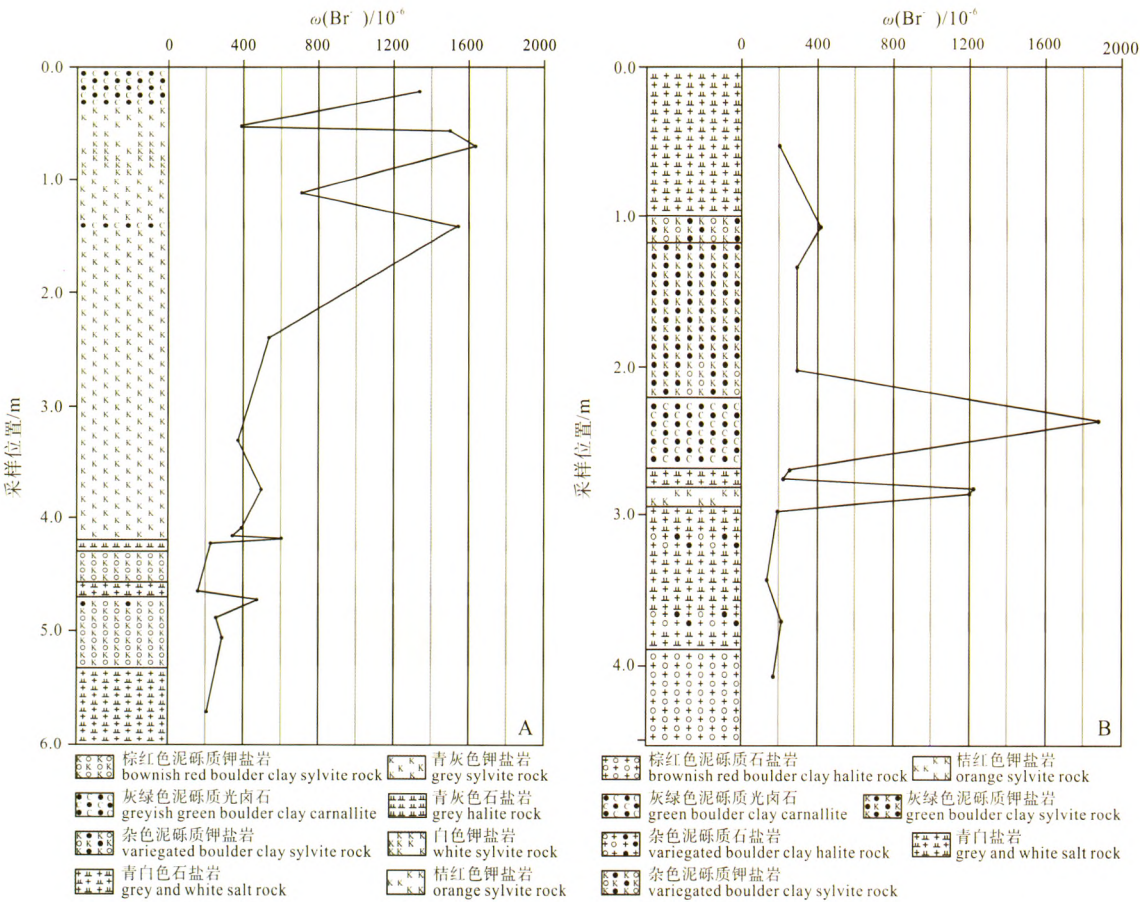


图 3 勐野井井下盐层剖面 Br 值变化趋势图
Fig.3 The distribution of Br values in salt layer sections of Mengyejing Formation
A-628 m 巷道盐层; B-640 m 巷道盐层
A-628 m tunnel salt layer, B-640 m tunnel salt layer

表 1 和图 3。由表和图知, 628 m 巷道盐层 19 个样品的 Br 含量范围为 $168\times10^{-6}\sim1629\times10^{-6}$, 均值为 618×10^{-6} ; 640 m 巷道盐层 13 个样品的 Br 含量范围为 $143\times10^{-6}\sim1886\times10^{-6}$, 均值为 519×10^{-6} 。两个剖面含钾层位的 Br 值均 $>200\times10^{-6}$ 。

兰坪—思茅盆地和泰国—老挝境内呵叻盆地同处一个大地构造带, 而呵叻盆地是世界上最大的古代固体钾盐矿床之一, 因其盐层 Br 值均大于 200×10^{-6} , 海水是成矿物质的主要来源(曲一华, 1995; 高翔等, 2012)。前人研究表明, 兰坪—思茅盆地的卤水是自呵叻盆地向北迁移所致(曲懿华, 1997), 而云南勐野井钾盐矿床盐层微量元素 Br 平均含量达 578×10^{-6} 。因此, 可准确断定勐野井钾盐矿床的成矿物质主要得益于海水的贡献。

2.1.2 海绿石

海绿石是一种富钾、铁的含水层状铝硅酸盐矿物, 最早发现它形成于特殊的海洋环境, 曾作为海相地层的标识矿物。后来在陆相地层中也发现自生海绿石(王云飞, 1983), 因此, 海绿石便有海相和湖

相两种成因, 但海相成因仍为主流观点(葛瑞全, 2004; 曹洁等, 2010)。

本文对勐野井钾盐矿床的底板——扒沙河组新鲜的石英砂岩进行 XRD 矿物相分析(见图 4), 结果给出样品中的矿物为纯的石英。因 XRD 对混合样品中各矿物相的检出限 $>1\%$, 可能是石英砂岩中海绿

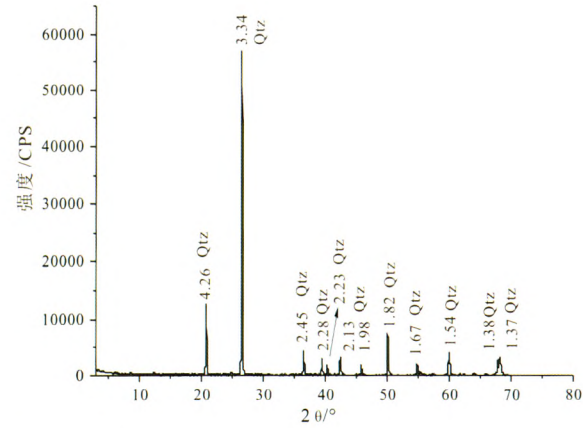


图 4 扒沙河新鲜石英砂岩样品的 XRD 图谱(Qtz-石英)
Fig.4 XRD pattern of quartz sandstone in Bashahe Formation(Qtz-Quartz)

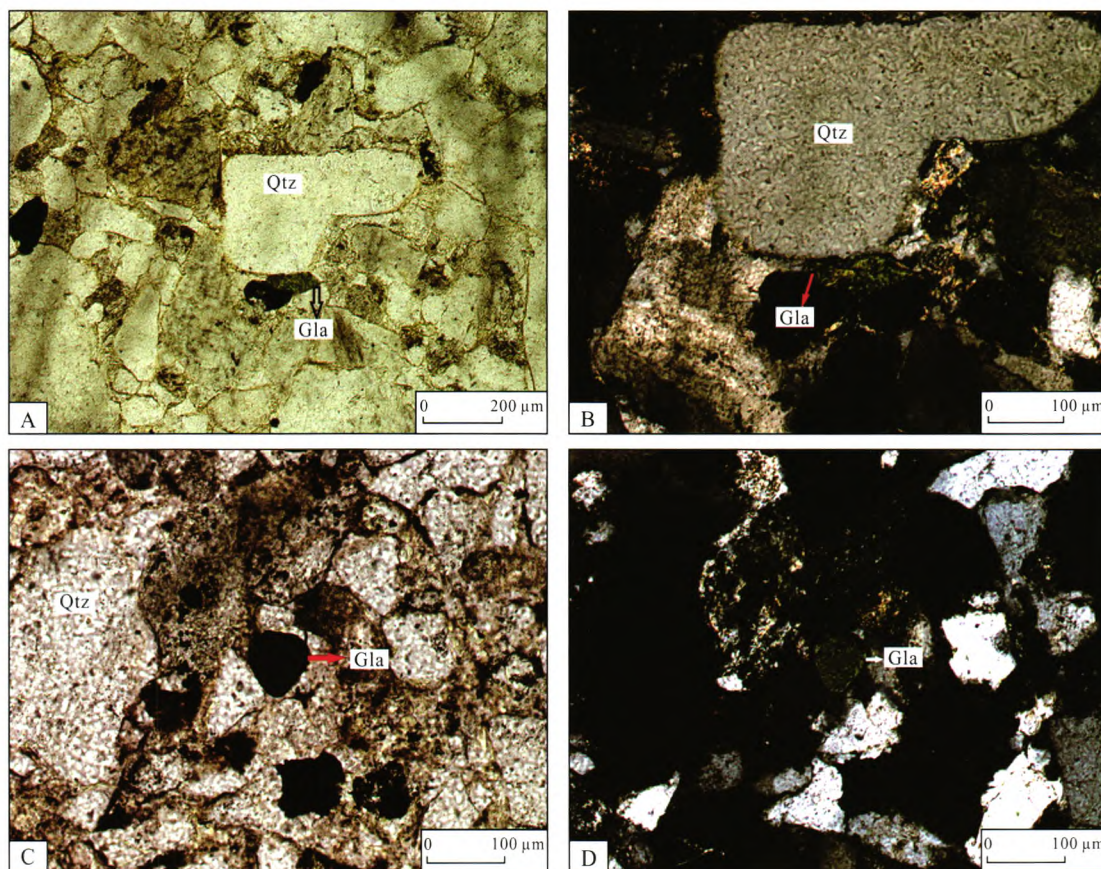


图 5 扒沙河组石英砂岩中的海绿石

Fig. 5 Glauconite in quartz sandstone of Bashahe Formation

A, B-单偏光和正交下砂岩中的海绿石(Gla, 10×10), B 中海绿石颗粒中间可见残留丝状黑云母;

C, D-单偏光和正交下呈近似三角形颗粒的海绿石(Gla, 10×20)

A, B-glaconite in quartz sandstone under plainlight and crossed nicols (10×10), respectively, with residual filamentous biotite at glauconite particle seen in B; C, D-glaconite showing triangle particle under plainlight and crossed nicols (10×20), respectively

石的含量低于 XRD 的检出限的缘故, 所以 XRD 图谱上并未出现其相应峰值。

为了查明扒沙河组石英砂岩中是否存在少量海绿石, 对该地层新鲜的石英砂岩磨制薄片, 并进行光学显微镜下观察, 结果在薄片观察到极少量海绿石。该海绿石在单偏光下呈墨绿色, 颗粒形状表现为不规则和近似三角形(图 5A, C), 分布在石英颗粒间, 正交下为绿色(图 5B, D), 在海绿石颗粒中可见残留的丝状原黑云母的清晰解理(见图 5B), 表明该海绿石是由黑云母蚀变而来。

如前所述, 兰坪—思茅盆地的卤水是自呵叻盆地向北迁移所致, 晚白垩世扒沙河组沉积时仍处于海水覆盖之下, 石英砂岩中的海绿石必然是其相应的沉积产物, 故可作为海相地层的指相矿物。

因此, 勐野井组盐层 Br 值特征及其底板扒沙河组石英砂岩中的海绿石能充分证明海水为矿床的形成提供了成矿物质。

2.2 深部热液

2.2.1 勐野井组富钴镍矿物

(1)富钴镍黄铁矿

在勐野井组灰绿色泥岩中广泛分布晶形完整的八面体金属矿物, 呈浅黄铜色, 强金属光泽, 粒度约 0.5~1 mm。因该矿物赋存于还原环境的灰绿色泥岩中, 结合其晶体形态和颜色, 初定为黄铁矿。将该矿物的单颗粒进行 XRD 分析, 衍射图谱中的 20 条峰的面网间距 d 值均与黄铁矿的衍射峰相匹配(见图 6)。因此, 可以确定该矿物为黄铁矿(FeS_2)。

在矿物相鉴定的基础上, 对黄铁矿样品进行电子探针微区化学成分分析, 共打点 5 个, 结果见表 2。由表知, 样品的主要化学成分为 S 和 Fe, 其中 S 含量范围为 52.99%~53.94%, 均值 53.38%; Fe 含量范围 45.58%~46.77%, 均值 46.21%; Ni 位居第三, 含量 0.14%~0.80%, 均值 0.37%; Co 为第四, 含量 0.10%~0.19%, 均值 0.13%。此外, 还有极少量 Cu(均值 0.02%)和 Zn(均值 0.01%)。

电子探针化学成分分析所给出的主量元素 Fe、S 结果与黄铁矿的化学成分一致,同时样品中还含少量 Co、Ni、Cu 和 Zn,其中 Co 和 Ni 的含量均大于 0.10%,特别是 Co 的均值高达 0.37%。Co、Ni、Cu 和 Zn 四种金属元素呈正二价时的离子半径分别为 0.75 Å、0.69 Å、0.72 Å 和 0.74 Å,与 Fe²⁺的半径 0.78 Å 接近,因此,这些二价金属离子可进入黄铁矿的晶格,与 Fe²⁺发生类质同象替代。

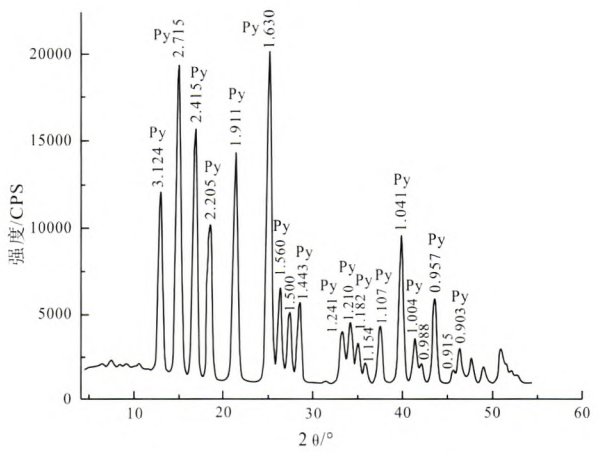


图 6 勐野井组灰绿色泥岩中黄铁矿的 XRD 图谱
(Py-黄铁矿)
Fig. 6 XRD pattern of pyrite in grayish green mudstone of Mengyejing Formation (Py-pyrite)

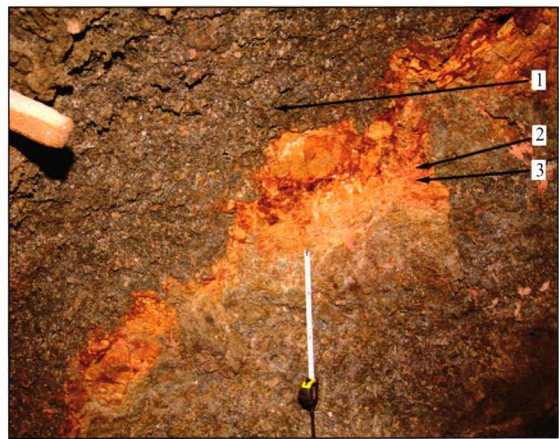


图 7 充填在井下 670 巷道盐层裂隙中的羟碳钴镍石
Fig. 7 Comblainite filled in salt layer fissures at 670 m tunnel
1-盐层; 2, 3-裂隙中的羟碳钴镍石与盐类的混合物
1-salt layer; 2, 3-comblainite in salt layer fissures

表 2 黄铁矿的电子探针分析结果(%)		Table 2 EPMA analyses of pyrite (%)						
MK-36-1 样品点号		元素分析(%)						
		S	Fe	Ni	Co	Cu	Zn	Total
1		53.23	45.58	0.80	0.15	0.00	0.02	99.77
2		53.42	46.54	0.32	0.10	0.09	0.00	100.46
3		52.99	46.30	0.14	0.10	0.02	0.01	99.55
4		53.94	45.85	0.30	0.19	0.00	0.00	100.28
5		53.32	46.77	0.28	0.12	0.00	0.04	100.52

为查明 Co、Ni 等离子进入黄铁矿晶体后对结构的影响,在上述 XRD 基础上,采用 Jade 6.5 软件对该黄铁矿进行晶胞参数精修,得到精修后的晶胞参数为: a=5.4197 Å (0.0002), V=159.19 Å³。与标准黄铁矿 (PDF 卡 42-1340) 的晶胞参数 a=5.4179 Å, V=159.04 Å³ 对比可知,勐野井钾盐矿床中富含钴镍黄铁矿的晶胞轴长和体积明显大于标准黄铁矿的,表明 Co、Ni 等离子进入晶格与 Fe²⁺发生类质同象替代导致了该黄铁矿晶胞体积的增大。

(2)羟碳钴镍石(Ni₆Co₂(CO₃)(OH)₁₆•4H₂O)
在勐野井井下 670 m 巷道盐层裂隙中充填黄褐色似泥质脉(见图 7)。双目镜下黄褐色脉状物为隐晶质的似黏土混合物,无法对其进行分离。
为鉴定裂隙充填物和盐层的矿物组合类型,取盐层样品(1 号)和黄褐色脉状充填物(2 号和 3 号)进行 XRD 分析,结果见图 8 和表 3。由图和表知,盐层的主要矿物为石盐(47%)、硬石膏(20%)、菱镁矿(10%)和石英(10%),以及少量钾石盐(3%)、伊利石(5%)和绿泥石(5%),不含羟碳钴镍石。脉状充填物

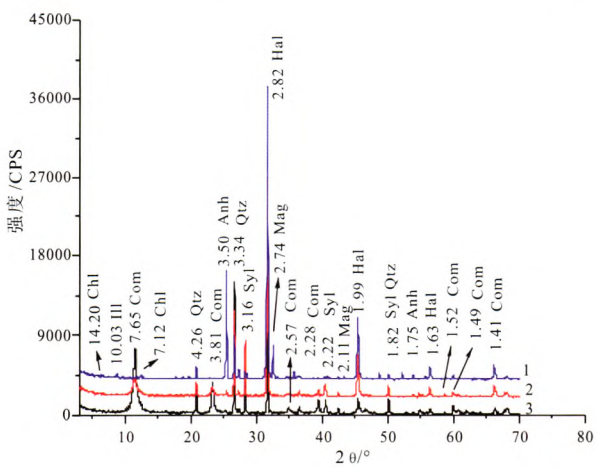


图 8 羟碳钴镍石的 XRD 图谱
Fig. 8 XRD pattern of comblainite in 670m tunnel of Mengyejing Formation
Com-羟碳钴镍石; Qtz-石英; Hal-石盐; Syl-钾石盐; Chl-绿泥石;
Ill-伊利石; Mag-菱镁矿; Anh-硬石膏
Com-comblainite; Qtz-quartz; Hal-halite; Syl-sylvite; Chl-chlorite;
Ill-illite; Mag-magnesite; Anh-anhydrite

表 3 670 m 巷道盐层及裂隙填充物的 XRD 矿物定性 和半定量结果		Table 3 Qualitative and quantitative analytical results of salt layer and fissure fillings in 670 m tunnel by XRD							
		矿物的相对含量(%)							
样品号		Qtz	Hal	Syl	Com	Chl	Ill	Mag	Anh
1		10	47	3	0	5	5	10	20
2		20	55	15	10	0	0	0	0
3		35	25	15	25	0	0	0	0

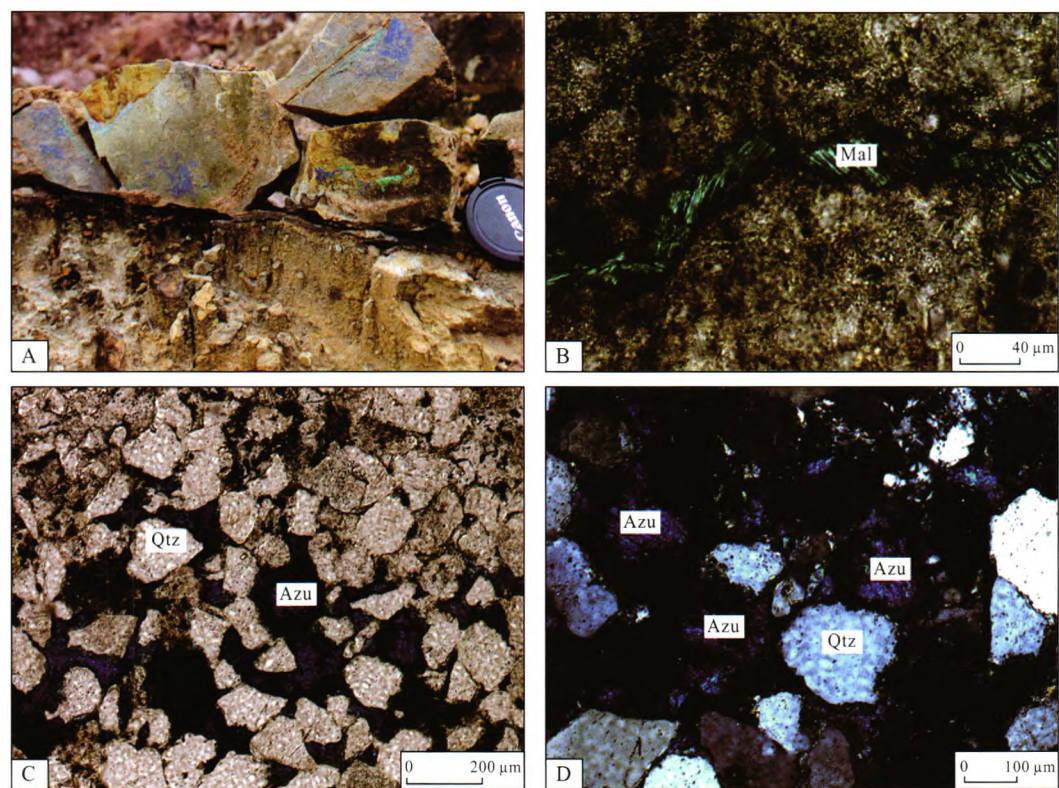


图9 扒沙河组石英砂岩中的孔雀石和蓝铜矿

Fig. 9 Malachite and azurite in quartz sandstone of Bashahe Formation

A-石英砂岩标本中的蓝铜矿和孔雀石; B-砂岩裂隙中的孔雀石(Mal, 单偏光 10×40);

C, D-单偏光(10×10)和正交下(10×20)石英砂岩中的蓝铜矿 Azu

A-malachite and azurite in quartz sandstone specimen; B-malachite in fissures of sandstone(plainlight 10×40); C, D-azurite in quartz sandstone, plainlight (10×10) and crossed nicols (10×20), respectively

的主要矿物组成与盐层的区别在于出现三方晶系羟碳酸钴镍石(2号样品含量为10%, 3号为25%), 不含菱镁矿、硬石膏、伊利石和绿泥石。据黄褐色脉的分布特征可知, 其形成晚于盐层, 是盐层裂隙后期的充填产物。此外, 由 XRD 图可知, 羟碳酸钴镍石的衍射峰较为宽化, 这与其呈隐晶质的结晶习性相一致。

2.2.2 扒沙河组石英砂岩中的孔雀石和蓝铜矿

扒沙河组砂岩为矿层勐野井组的底板, 在野外露头可观察到扒沙河组砂岩表面普遍见铜蓝和铜绿(见图 9A), 对其磨片并镜下鉴定, 可知蓝绿色的孔雀石分布在碳酸盐化石英砂岩的微裂隙中(图 9B), 深蓝色的蓝铜矿则分布在石英颗粒间的孔隙内(见图 9C, D)。孔雀石和蓝铜矿分别沿裂隙和石英颗粒间孔隙分布的特征表明, 两种铜矿物的形成时间晚于石英砂岩, 是深部热液沿裂隙和颗粒孔隙充填的结果。

勐野井钾盐矿床是以石盐、钾石盐、石膏等盐类矿物为主的非金属沉积矿床, 但在该矿床的盐层及其底板石英砂岩中出现富含 Co、Ni 的黄铁矿、羟

碳酸钴镍石、孔雀石和蓝铜矿等富含 Cu、Co、Ni 的矿物, Cu、Co、Ni 这些金属元素不可能全部源于母岩的风化。由于该矿床地处复杂的构造环境中, 其北部的兰坪盆地为多金属成矿带, 可断定 Cu、Co、Ni 等金属元素是深部热液的贡献。

3 结论

本文通过对云南兰坪—思茅盆地勐野井钾盐矿床物质组分的研究, 对矿床成因进行了重新认识。勐野井组盐层样品中的微量元素 Br 平均含量远远高于 200×10^{-6} , 且在盐系地层的底板扒沙河组石英砂岩中存在少量海相指示矿物海绿石, 表明扒沙河组石英砂岩曾浸没在海水之下。此外, 勐野井组灰绿色泥岩中广泛分布富含钴镍的黄铁矿, 在盐层裂隙中分布着含钴镍矿物——羟碳酸钴镍石。同时, 在扒沙河组石英砂岩的裂隙或石英颗粒间隙普遍分布着含铜矿物——孔雀石和蓝铜矿。考虑到勐野井钾盐矿床处于复杂的构造活动带上, 并结合这些富含 Cu、Co、Ni 矿物的出露位置及分布特征, 指出除海水以外, 深部热液也为矿床的形成提供了重要的成矿物质。

参考文献:

- 曹洁, 张永生, 宋天锐, 王俊涛. 2010. 黑龙江东部盆地群白垩纪海侵存在的矿物学证据及其意义[J]. 地质学报, 29(7): 1024-1030.
- 高翔, 蔡克勤, 李代荣, 彭强, 方勤方, 秦红. 2012. 老挝甘蒙省钾镁盐矿床含矿段的矿物学和地球化学特征及成因[J]. 岩石矿物学杂志, 31(4): 578-588.
- 葛瑞全. 2004. 济阳拗陷新生界海绿石的存在及其地质意义[J]. 沉积学报, 22(2): 276-280.
- 林耀庭. 1995. 溴的地球化学学习性及其在四川找钾工作中的应用[J]. 化工矿产地质, 17(3): 175-181.
- 苗卫良, 马海州, 张西营, 张玉淑, 李永寿. 2013. 云南兰坪—思茅盆地江城勐野井钾盐矿床 SHK4 孔含盐系粘土矿物特征及其成钾环境指示意义[J]. 地球学报, 34(5): 537-546.
- 曲一华, 袁品泉, 帅开业, 张瑛, 蔡克勤, 陈朝德, 贾疏源. 1998. 兰坪—思茅盆地钾盐成矿规律及预测[M]. 北京: 地质出版社.
- 曲一华. 1995. 中国与泰国(含老挝)古新世钾盐矿床对比[R]. 北京: 地质矿产部.
- 曲懿华. 1997. 兰坪—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, 19(2): 82-98.
- 王云飞. 1983. 抚仙湖现代湖泊沉积物中海绿石的发现及成因的初步研究[J]. 科学通报, 22: 1388-1392.
- 肖章程, 黄和旺. 2009. 云南省思茅盆地固体钾盐矿成矿物质来源[J]. 中国西部科技, 8(23): 9-11.
- 许效松, 吴嘉陵. 1992. 云南勐野井钾盐矿床特征、微量元素地球化学及成因探讨[J]. 中国地质科学院院报, 5: 17-39.
- 袁秦, 秦占杰, 魏海成, 盛淑蓉, 山发寿. 2013. 云南江城勐野井组钾盐成矿时代及其占环境研究[J]. 地球学报, 34(5): 631-637.
- 张从伟, 高东林, 马海州, 韩文霞. 2010. 兰坪—思茅盆地钾盐矿床的物质来源探讨[J]. 盐湖研究, 18(4): 12-18.
- 张嘉澍, 李官贤. 1980. 云南江城勐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所编. 云南思茅地区钾盐地质研究论文集: 38-44.
- 郑绵平, 张震, 张永生, 刘喜方, 尹宏伟. 2012. 我国钾盐找矿规律新认识和进展[J]. 地球学报, 33(3): 280-294.
- English abstract).
- LIN Yao-ting. 1995. Geochemical behavior of bromine and its application to prospecting for potash resource in Sichuan[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 17(3): 175-181(in Chinese with English abstract).
- MIAO Wei-liang, MA Hai-zhou, ZHANG Xi-ying, ZHANG Yu-shu, LI Yong-shou. 2013. Clay Mineral Characteristics of Salt Sequence in Drill Hole SHK4 of the Mengyejing Potassium Deposit of Jiangcheng, Lanping-Simao Basin, Yunnan Province, and Their Sylvite-forming Significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(5): 537-546(in Chinese with English abstract).
- QU Yi-hua, YUAN Ping-quan, SHUAI Kai-ye, ZHANG Ying, CAI Ke-qin, CHEN Chao-de, JIA Shu-yuan. 1998. Mineralgenesis law and prediction of potash deposit in Lanping-Simao Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- QU Yi-hua. 1995. Comparison of Paleocene Epoch potash deposit between China and Thailand (including Laos)[R]. Beijing: Ministry of Geology and Mineral Resources(in Chinese).
- QU Yi-hua. 1997. Homology studies of brine containing potassium between Lanping-Simao basin and Thailand khorat basin[J]. *Geology of Chemical Mineral*, 19(2): 82-98(in Chinese).
- WANG Yun-fei. 1983. The discovery and genesis of glauconite at modern lake sedimentary in Fuxian Lake[J]. *Science Bulletin*, 22: 1388-1392(in Chinese).
- XIANG Zhang-cheng, HUANG He-wang. 2009. The sources of ore-forming materials for solid potash deposit in Simao Basin, Yunnan Province[J]. *Chinese Western Science*, 8(23): 9-11(in Chinese).
- XU Xiao-song, WU Jia-ling. 1992. Potash deposit in Mengyejing, Yunnan: A study of certain characteristics, geochemistry of trace elements and genesis of the deposits[J]. *Bulletin Chinese Acad. Geol. Sci.*, 5: 17-36(in Chinese with English abstract).
- YUAN Qin, QIN Zhan-jie, WEI Hai-cheng, SHENG Shu-rong, SHAN Fa-shou. 2013. The Ore-forming Age and Palaeoenvironment of the Mengyejing Formation in Jiangcheng, Yunnan Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(5): 631-637(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Cong-wei, GAO Dong-lin, MA Hai-zhou, HAN Wen-xia. 2010. A tentative discussion on material source of Potash Deposit in Lanping-Simao Basin[J]. *Journal of Salt Lake Research*, 18(4): 12-18(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jia-shu, LI Guan-xian. 1980. Geological characteristics of Mengyejing Potash Deposit in Yunnan. Editors: Institute of science research for potash geology, Yunnan Geology Bureau[C]// Research papers of potash geology in Simao Basin, Yunnan. Yunnan Geology Bureau: 38-44(in Chinese).
- ZHENG Mian-ping, ZHANG Zhen, ZHANG Yong-sheng, LIU Xi-fang, YIN Hong-wei. 2012. Potash Exploration Characteristics in China: New Understanding and Research Progress[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(3): 280-294(in Chinese with English abstract).

References:

- CAO Jie, ZHANG Yong-sheng, SONG Tian-rui, WANG Jun-tao. 2010. Mineralogical evidences and significance of transgression event in the Cretaceous basins of eastern Heilongjiang Province, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(7): 1024-1030(in Chinese with English abstract).
- GAO Xiang, CAI Ke-qin, LI Dai-rong, PENG Qiang, FANG Qin-fang, QIN Hong. 2012. The characteristics of mineralogy, geochemistry, and its genesis for potassium-magnesium salt deposit of Khammouan Province, Laos[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(4): 578-588(in Chinese with English abstract).
- GE Rui-quan. 2004. Occurrence and Geological Significance of Glauconite in Cenozoic Group of Jiyang Depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(2): 276-280(in Chinese with