

云南兰坪-思茅盆地勐野井矿区钾石盐 的特征及其沉积环境

方勤方,高翔,彭强,姚薇,董娟

中国地质大学(北京)科学研究院,北京,100083

内容提要: 本文运用 X 射线粉晶衍射(XRD)、透射电镜-能谱(TEM-EDS)和工业 CT 等方法,对云南江城勐野井钾盐矿床 580 m 运输坑道地质剖面钾矿石的特征进行了研究。XRD 和 TEM-EDS 结果给出,矿石中的盐类矿物主要是石盐、钾石盐、硬石膏和菱镁矿,钾石盐主要赋存在青灰色岩盐和灰绿色泥砾质岩盐中。CT 结果表明,青灰色钾盐矿体中的石盐呈近似圆形和棱角分明的角砾,钾石盐沿石盐角砾的边缘呈条带状或不规则状分布,在条带状的内部可见钾石盐呈粒状或团块状分布,其中粒状钾石盐可能以八面体和立方体为主,而团块状钾石盐无特定晶形。钾石盐的这种分布特征表明,该盐类矿床在蒸发沉积过程中,早期沉积的石盐体呈遭受外力破坏,后期形成的钾石盐沿其裂隙沉积,表明钾石盐形成晚于石盐,且可能有多次沉积。

关键词: 钾盐矿床;勐野井;钾石盐;沉积环境;粉晶衍射;透射电镜-能谱;工业 CT

云南江城勐野井钾盐矿是我国目前唯一的古代固体钾盐矿床。该矿床自上个世纪 50 年代发现以来,已经有许多学者对其进行研究。取得的重要成果有:就中国板块构造与盐类矿产的关系而言,兰坪-思茅盆地为我国的一个钾盐成矿带(关绍曾等,1996),且兰坪-思茅盆地与泰国呵叻盆地含钾卤水具有同源性(曲懿华,1997;张建林,2006)。在对矿床物质组分系统研究的基础上,给出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(许效松等,1983;肖章程等,2009;高翔等,2013),并推测勐野井钾盐矿区仍有较大的找矿潜力(商朋强等,2011)。在找钾地质工作方面,利用扫描电镜-X 射线能谱等现代测试手段来研究钾盐的矿物组分也取得了很好的效果(王弭力等,1994;Sun et al.,2002;宣之强等,2009;孙小虹等,2010)。

在钾盐矿床中,石盐和钾石盐呈共生关系,二者晶体形态和晶体光学特征极为相近,对其进行鉴定的有效测试方法为 X-射线粉末衍射和工业 CT 技术。X-射线粉末衍射为常规的分析测试技术,而工业用计算机断层成像技术(industrial computerized tomography,简称工业 CT),是一种依据外部投影数据重建物体内部结构图像的无损检测技术(张朝

宗等,2009),它可以得到没有重叠的数字化图像,不仅可以给出物体内部细节的三维位置数据,还可以定量地给出细节的辐射密度数据,并且以二维断层图像或三维立体图像的形式,清晰、准确、直观地展示被检测物体的内部结构、组成、材质及缺损状况。工业 CT 技术已经运用到地质学研究领域,如石油、水、气的研究中,用它来探索岩石中的孔(裂)隙以及流体的通道等,在金矿的研究中,用来描述自然金的形态及大小等。

因此,本文运用 X-射线粉晶衍射分析、透射电镜-能谱以及工业 CT 扫描等方法,研究勐野井矿区青灰色岩盐中钾石盐矿物的特征。

云南江城勐野井钾盐矿床位于兰坪-思茅中生代坳陷的东部(图 1),区域发育下白垩统景星组下段(K_1j^1)灰白、黄灰色石英砂岩夹紫红色粉砂质泥岩,上段(K_1j^2)紫红色灰绿色泥岩、粉砂质泥岩夹少量灰白色砂岩;下白垩统曼岗组上段(K_1m^2)砂岩、粉砂岩互层,下段(K_1m^1)砂岩夹粉砂岩;下白垩统扒沙河组(K_1p)灰紫、浅紫色厚层中细粒石英砂岩;上白垩统勐野井组下段(E_1me^1)棕红色钙质粉砂质泥岩夹杂色泥砾岩透镜体、中段(E_1me^2)棕红色钙质泥岩与粉砂岩不等厚互层、上段(E_1me^3)棕红色砂岩、粉砂岩夹角砾状粉砂岩。另有第三系(N)砂

注:本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2011CB403004)资助成果。

收稿日期:2015-07-06;改回日期:2015-08-20;责任编辑:周健。

作者简介:方勤方,男,1956 年生。高级工程师,从事地质学和仪器分析的教学和科研工作。Email:fangqf@cugb.edu.cn。

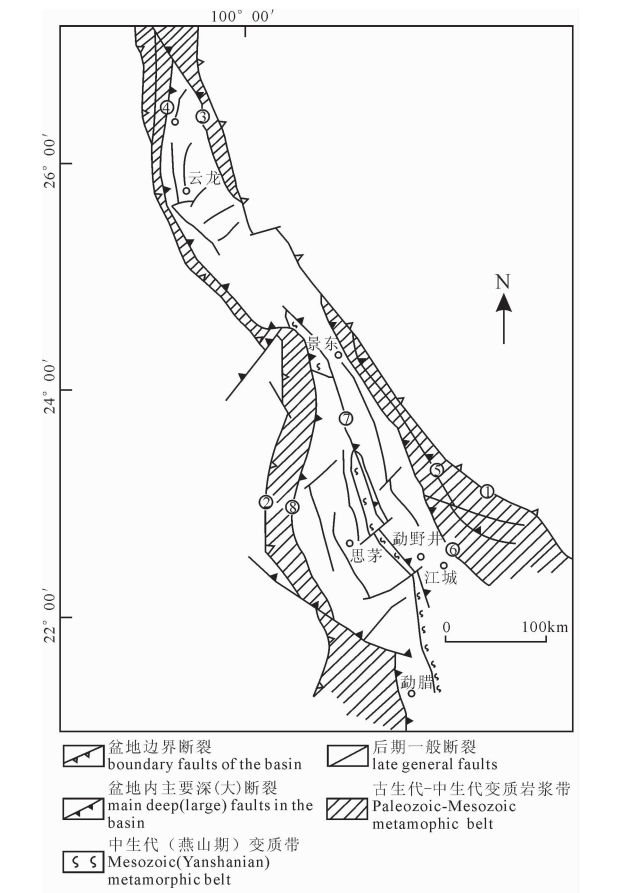


图 1 云南兰坪-思茅盆地构造分布略图(据陈跃昆等,2004)
Fig.1 The map of tectonic distribution for Lanping-Simao Basin (from Chen, et al., 2004)

- 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—Jinshajing-Ailaoshan fault; ②—Lancangjiang fault; ③—Qiaohou fault; ④—Jiuzhou fault; ⑤—Anding fault; ⑥—Amojiang fault; ⑦—Yingpanshan fault; ⑧—Minle fault

岩、粉砂岩及第四系(Q)零星分布。矿区含盐层主要赋存于含砾岩的勐野井组上、下两个岩性段中。依据含盐岩性的颜色,自矿体向外可分为青灰色岩盐、灰绿色泥砾质岩盐和棕红色泥砾质岩盐等。

矿区及矿区附近未见岩浆岩出露。

矿区内主要断层构造有 NW 向断层和 NE 向断层,NW 向断层出露矿区东北部,断层面倾向北东,倾角 70°~80°,断距大于 1 km。NE 向断层出露矿区西部,断层倾向北西,倾角 75°~80°,出露长度达 7 km。矿区褶皱构造主要为轴向北西-南东的勐野井向斜,向斜轴长 7 km,平均幅宽 3.5 km,两翼地层厚度相近,倾角 30°~45°,向斜东端扬起。矿区内含盐矿体主要分布在该向斜两翼的勐野井组地层中。

1 采样位置及样品

本次工作主要是在矿区 580 m 中段的运输巷道里,实测了一条地质剖面。该剖面走向近南北向(NE8°),剖面的南端为 580 m 中段溜矿井口处,北端为青灰色钾盐矿体,剖面总长约 400 m(图 2)。

该剖面自北向南依次见:

(1) 青灰色岩盐:观察到青灰色岩盐层厚约 5 m,青灰色,致密块状构造,主要矿物成分为石盐,其次是钾石盐。盐层中还可可见少量呈带状或团块状分布的棕红色泥砾质岩盐和灰绿色泥砾质岩盐团块,含量仅占青灰色岩盐的 5%左右,红(绿)泥砾质岩盐中的泥砾(角砾)棱角分明,与青灰色岩盐的接触界限清晰。

(2) 黑白相间的条带状岩盐,厚约 2 m,黑白条带的宽度在 5~15 cm 之间。条带状构造,主要矿物成分为石盐,条带状岩盐中见少量灰绿色泥砾质岩盐团块。

(3) 灰绿色泥砾质岩盐:厚约 10 m,灰绿色,角砾状构造,主要矿物成分为石盐、泥砾等,泥砾的含量约 40%~50%。橘红色岩盐呈网格分布在灰绿色泥砾质岩盐的胶结物中,橘红色岩盐含量为泥砾岩胶结物总量的 5%~15%左右。

(4) 棕红色泥砾质盐:棕红色,角砾状构造,厚 380 m 左右,主要矿物成分为石盐、泥砾等,泥砾含量约 50%~60%,泥砾虽然大小不一,但是泥砾的棱角明显,泥砾与其胶结物的颜色相近,且二者的接触界限清楚,泥砾中的含盐量明显低于胶结物中盐的含量。棕红色泥砾质盐岩层中不等距出现灰绿色泥砾质岩盐层,其厚度在 0.3~1.5 m 左右,灰绿色泥砾质岩盐与棕红色泥砾岩质岩盐之间的接触界限清晰。

该剖面表明了,勐野井组棕红色泥砾质岩盐形成于炎热干旱的热带-亚热带气候条件(袁秦等,2013)下的湖盆(朱志军等,2011)。在湖水接触之处,受湖水浸没的影响,局部变为还原的环境,形成了灰绿色的泥砾质岩盐。韵律状的黑白条带岩盐则可能是在湖水动荡的过程中蒸发形成的。青灰色岩盐形成于湖水蒸发的晚期。

在野外对该剖面进行了系统取样,共 21 件,其中青灰色岩盐样品 4 件,其余为泥砾质岩盐样品。在室内对这些样品进行 X 射线粉晶衍射和透射电镜-能谱分析,并对其中的 4 件青灰色样品进行工业 CT 分析。

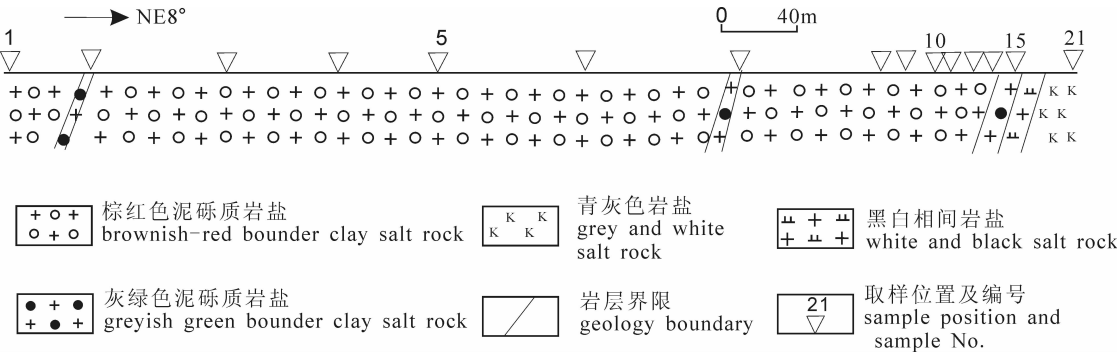


图 2 勐野井矿区 580 m 中段地质剖面及取样位置图

Fig. 2 Geological section and sampling position in 580 m tunnel section of Mengyejing potash deposit

2 实验仪器与方法

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, 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 , $\lambda=0.15406\text{ nm}$, 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。

日本日立公司生产的 H8100 型透射电镜, 其附件为荷兰飞利浦公司生产的 EDAX-4 能谱分析仪。实验条件为: 透射电镜的加速电压 200kV, ZOOM 模式, 能谱仪积分为 100 s, 得到的数据由 EDAX 专用软件处理。

英国 X-TEK SYSTEMS 公司生产的 XTH320LC 工业 CT 仪, 是运用 X 射线装置作为射线源的锥束扫描装置, X 射线发生器选用 225 kV 枪管。实验条件: 管电压为 160 kV, 管功率 34 W, 滤片为 1 mm 厚的铜片, 单张透射照片的扫描时间为 1 s。

- 实验方法:
- (1) 按照样品中岩盐 (石) 所呈现的颜色及其矿物组合情况, 将同色 (类) 物质按挑选单矿物的方法, 选出备用。
- (2) 将挑选好的样品制成透射电镜样品: 在制作电镜样品时, 考虑到盐类样品易溶于水, 因此, 我们采用无水乙醇作溶剂, 加入适量的样品, 进行研磨和超声分散后, 取其混合液滴在带碳膜的铜网上, 自然晾干, 制成电镜样品。
- (3) 在透射电镜的荧光屏上选出感兴趣的颗粒, 进行能谱分析并拍摄下该颗粒的形貌图像。
- (4) 将样品 (全样) 制成粉晶衍射分析样品, 进

行 X 射线粉晶衍射分析, 以确定样品中的矿物组成及相对含量。

(5) 将青灰色岩盐制成药 $\Phi 4\text{ mm}$ 的柱状样品, 在工业 CT 进行扫描, 得到 3124 张透射照片, 再用 CT Pro 3D 软件 (英国产) 对这些透射照片进行 3D 重构后, 运用 V G Studio MAX 2.2 软件 (德国产) 进行体积可视化分析。

3 实验结果

3.1 X 射线粉晶衍射分析结果

岩盐样品中部分矿物的 X 射线粉晶衍射分析结果见表 1。从表 1 可以看出, 钾石盐 (KCl) 在青灰色岩盐中含量较高, 其次是黑色岩盐, 在灰绿色泥砾质岩盐中含少量 KCl, 而棕红色泥砾质岩盐以及棕红色泥砾中均未检出 KCl。从表 1 中还可以看出, 该矿区的矿石, 即青灰色岩盐中的含钾矿物为钾石盐。

表 1 勐野井矿区 580 m 中段剖面部分矿物分布情况 (%)

Table 1 Distribution (%) of minerals for 580 m tunnel section in Mengyejing potach deposit

岩石名称	样品数	钾石盐	光卤石	石盐	硬石膏	菱镁矿
青灰色岩盐	4	8	—	89	3	—
白色岩盐	3	—	—	95	5	—
黑色岩盐	2	5	—	92	3	—
灰绿色泥砾质岩盐	6	3	—	50	10	9
棕红色泥砾质岩盐	3	—	—	62	8	14
棕红色泥砾	3	—	—	22	16	—

注: 据 X 射线粉晶衍射分析结果统计。“—”表示未检出。

从灰绿色泥砾质岩盐、黑色岩盐到青灰色岩盐, 钾石盐的含量呈逐渐增高趋势, 表明青灰色岩盐是该区钾石盐的浓集中心, 因此, 青灰色岩盐是该区的主要含钾矿石, 它也是海源陆相沉积产物 (高翔等, 2012)。

硬石膏在泥砾质岩盐中的含量较高,在黑白色岩盐和青灰色岩盐中的含量相对较低。与石盐和钾石盐相比,硬石膏的晶出表明是在卤水浓度相对淡化的阶段。

菱镁矿主要出现在泥砾质岩盐中,且从棕红色到灰绿色是逐渐降低的。菱镁矿的析出也是海(湖)水咸化阶段的标志(梁婉雪等,1983)。

3.2 透射电镜及能谱分析结果

在透射电镜下,可见钾石盐(KCl)呈柱状集合体(图 3A)或皮壳状(图 3B)。能谱数据显示,样品中 K 占样品重量的 52.6%,Cl 占 47.4%,钾原子个数与氯原子个数之比为 1:1(图 4),本次的测试值与理论值相近。但是在样品的破碎过程中,难以保存钾石盐的晶体形态;也可能在透射电镜粉末样品的

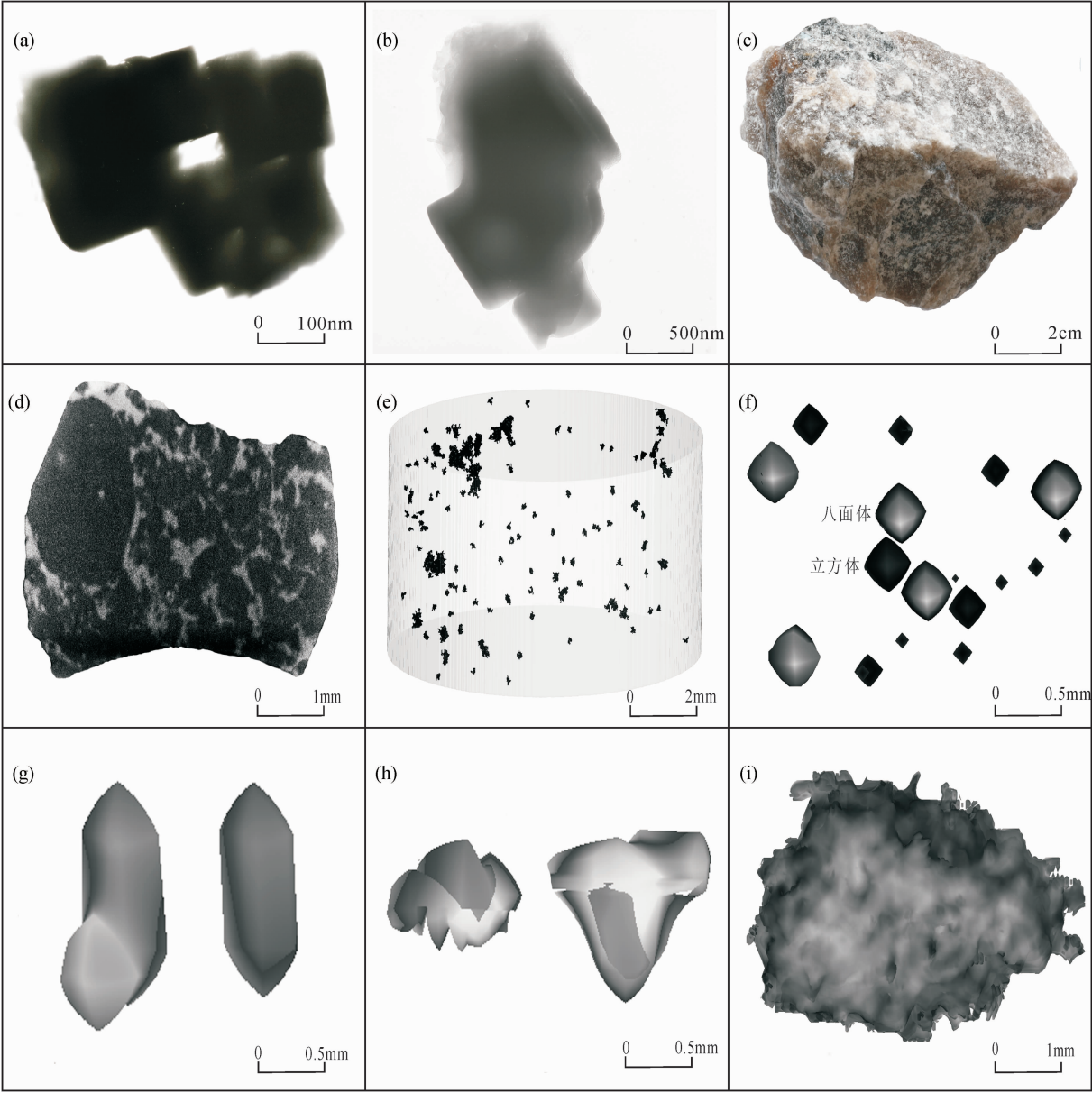


图 3 勐野井矿区青灰色岩盐的图像

Fig. 3 Image for green grayish salt rock from Mengyejing potash deposit
(a)—钾石盐集合体;(b)—层状钾石盐;(c)—青灰色岩盐标本;(d)—青灰色岩盐的 CT 图像(白色为钾石盐,黑色为石盐);(e)—青灰色岩盐中的钾石盐团块分布情况;(f)—钾石盐单晶;(g)—钾石盐聚晶;(h)—不规则状钾石盐;(i)—钾石盐团块
(a)—Aggregation of sylvite;(b)—layered sylvite;(c)—specimen of green grayish salt rock;(d)—CT image for green grayish salt rock(white for sylvite, black for halite);(e)—distribution of blocked sylvite in green grayish salt rock;(f)—single crystal of sylvite;(g)—glomerocryst of sylvite;(h)—Irregular sylvite;(i)—blocked sylvite

制样过程中,钾石盐颗粒和石盐颗粒在无水乙醇溶液中不能有效分开,故多数样品颗粒的能谱分析结果均为钾石盐与石盐的混合体图谱,也难以见到晶型较好的钾石盐单晶。

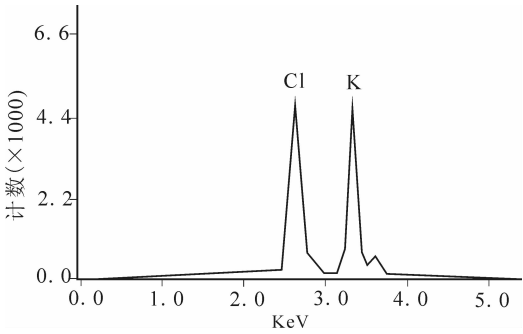


图 4 勐野井矿区钾石盐的透射电镜能谱分析结果
Fig. 4 Result of X-ray energy spectrum for sylvite from Mengyejing potash deposit

3.3 工业 CT 分析结果

在手标本上,一般难以区分钾石盐和石盐颗粒(图 3C)。根据工业 CT 的原理,由于单能 X 射线的衰减不仅与穿越物质的厚度有关,也与穿越物质的密度有关(张定华等,2010)。钾石盐和石盐的结晶特征虽然相近,但是组成钾石盐的阳离子是原子序数 19 的钾,而组成石盐的阳离子是原子序数为 11 的钠,钾与钠的原子序数差异较大(即密度差异较大),在工业 CT 下,就可以清晰地看出青灰色岩盐中钾石盐的分布情况。从图 3D 可以看出,青灰色岩盐中石盐(图中灰黑色部分)呈近似圆状和不规则状角砾分布,近似圆形的石盐颗粒表明石盐在结晶后曾遭受破碎和被磨圆的过程,而那些棱角分明且大小不一的石盐角砾则表明它们是受外力挤压破碎的产物。此外,石盐角砾内部的钾石盐含量较少,说明这些石盐在结晶沉淀时,钾石盐尚未大规模结晶析出,这也与盐类矿物的晶出顺序相一致,即钾石盐是卤水浓度最高阶段的析出产物。此外,由钾石盐(图 3D 中白色部分)分布于石盐角砾间的空隙可知(图 3D),钾石盐的形成晚于石盐。

钾石盐在样品中的分布如图 3E。取图 3E 的其中一个团块并将图像放大,可见这些钾石盐团块也是由钾石盐的八面体和立方体单晶(图 3F),还可见到长柱状的钾石盐聚晶体(图 3G),以及形状不规则的钾石盐(图 3H)。说明当钾石盐聚在一起时可以形成团块状(图 3I)。根据晶体生长理论,在钾石盐形成时,如果盐湖卤水中的 K 浓度较低时,钾石盐的(100)面将优先生长,最终可以形成以(111)面为

主的八面体晶体,而当(111)面优先生长时则形成以(100)面为主的立方体(张岩等,1999;方勤方等,2003),图 3F 中八面体钾石盐颗粒大小相似而立方体钾石盐颗粒则大小不一,说明八面体钾石盐可能是从 K 浓度较低的盐湖卤水中沉积出来的,而当 K 浓度较高时则有立方体钾石盐析出。当盐湖水平相对稳定时,在水中钾离子浓度较高处的钾石盐晶体生长速率较快,反之生长速率则慢,最终形成柱状的钾石盐聚晶。当盐湖水平动荡时,钾离子浓度出现变化,则可能长出形状不规则的钾石盐,进而聚集形成不规则团块状。勐野井矿床包裹体测温结果表明,古卤水温度是变化的(董娟等,2015),也说明部分钾石盐可能是在相对动荡的盐湖中沉积出来的。

4 结论

云南勐野井钾盐矿的岩盐类型主要有青灰色岩盐,灰绿色泥砾岩盐和棕红色泥砾岩盐。泥砾岩盐中的角砾与其胶结物同色且接触界限清楚。

X 射线粉晶衍射结果表明,从棕红色泥砾质岩盐、灰绿色泥砾质岩盐到青灰色岩盐,钾石盐的含量逐渐增加,而菱镁矿和硬石膏只在湖水相对淡化阶段的泥砾质岩盐中出现。

在透射电镜下,可见钾石盐为柱状集合体,能谱结果表明,钾石盐的主要成分中钾和氯的原子个数之比接近 1:1。

工业 CT 扫描结果表明,青灰色岩盐中,石盐呈近似圆形颗粒和棱角分明且大小不一的角砾,说明石盐在形成后曾遭受外力的作用。当盐湖水平平静时,沉积出来的钾石盐颗粒呈八面体和立方体单晶以及长柱状的聚晶;当盐湖水平相对动荡时,沉积出来的钾石盐颗粒呈不规则状,且容易形成钾石盐团块。

致谢:本文的野外工作得到了云南省江城泰裕钾盐矿领导的大力支持和协助。谨此表示感谢。

参 考 文 献

陈跃昆,廖宗廷,魏志红,李朝辉. 2004. 兰坪一思茅中生代盆地的特征及构造演化. 石油实验地质,26(3):219~222.
董娟,高翔,方勤方,彭强,马宏伟,刘光耀. 2015. 云南勐野井钾盐矿床包裹体特征及古环境意义. 岩石矿物学杂志,34(2):227~236.
方勤方,周辉峰,李洵. 2003. 用硼酸溶液及其火焰外焰对硬质合金基底表面进行预处理. 现代地质,17(1):115~118.
高翔,蔡克勤,李代荣,彭强,方勤方,秦虹. 2012. 老过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. 岩石矿物学杂

志,31(4):578~588.

高翔,方勤方,姚薇,彭强,董娟,秦红,邸迎伟. 2013. 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. 地球学报,34(5):529~536.

关绍曾,江宗龙,魏东岩,杨流平,宣之强,陈筵成,崔天秀,刘振敏,邓小林,尹学敏. 1996. 中国板块构造与盐类矿产. 化工矿产地质,18(2):73~81.

梁婉雪,李秀华,韩淑静. 1983. 云南勐野井钾盐矿中菱镁矿形态与盐度的关系. 矿物岩石,(2):17~22.

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. 化工矿产地质,19(2):81~84.

商朋强,熊先孝,李博昀. 2011. 中国钾盐矿主要矿集区及其资源潜力探讨. 化工矿产地质,33(1):1~8.

孙小虹,刘成林,宣之强. 2010. 新疆罗布泊含钾地层矿物扫描电镜研究. 矿床地质,29(4):631~639.

王弭力,刘成林,李长华. 1994. 青海昆特依盐湖富钾卤水储层扫描电镜分析. 化工地质,16(1):1~9.

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. 中国西部科技,8(23):9~11.

许效松,吴嘉陵. 1983. 云南勐野井钾盐矿床特征,微量元素地球化学及成因探讨. 中国地质科学院院报,第 5 号:17~36.

宣之强,刘成林,王弭力. 2009. 古代盐盆找钾中扫描电子显微技术应用. 化工矿产地质,31(3):183~192.

袁秦,秦占杰,魏海成,盛淑蓉,山发寿. 2013. 云南江城勐野井钾盐成矿时代及其古环境意义. 地球学报,34(6):631~637.

张朝宗,郭志平,张朋,王贤刚. 2009. 工业 CT 技术和原理. 北京:科学出版社,1~3.

张定华,黄魁东,程云勇. 2010. 锥束 CT 技术及其应用. 西安:西北工业大学出版社,16~18.

张建林. 2006. 中国一老挝古近系钾盐矿对比. 云南地质,25(3):309~316.

张岩,李洵,方勤方,陈代璋. 1999. 火焰法合成金刚石薄膜中晶体的组织结构研究. 现代地质,13(1):79~82

朱志军,姜勇彪,郭福生,侯增谦,杨天南,薛传东. 2011. 兰坪盆地古近纪沉积类型及沉积环境演化. 岩石矿物学杂志,30(3):409~418.

Sun Dapeng, LI Bingxiao, MA Yuhua, LIU Qunzhu. 2002. An Investigation on Evaporating Experiments for Qinghai Lake Water, China. Journal of salt lake research, 10(4):1~12.

Characteristics of Sylvite at the Mengyejing Potash Deposit in the Lanping-Simao Basin, Yunnan

FANG Qinfang, GAO Xiang, PENG Qiang, YAO Wei, DONG Juan
Institute of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing, 100083

Abstract

We studied the characteristics of potassium ore in the 580m tunnel section of Mengyejing Potash Deposit, Yunnan by XRD, TEM-EDS, and CT methods. The results of XRD and TEM-EDS show that the main salt minerals are halite, sylvite, anhydrite, and magnesite. Sylvite exists in green grayish salt rock and gray green mud gravel salt rock. CT analysis also gives that halite shows circular and angular breccia in green grayish salt rock, and sylvite is banded or irregular shape along the edge of halite breccia. In the banded sylvite, we can see granular or lumpy sylvite, single granular sylvite is octahedral and cube, and lumpy sylvite is no specific form. The distribution characteristics of sylvite show that the formation of halite is earlier than sylvite, after the halite was destroyed by external forces, the deposition of sylvite is along halite fracture, and there may be multiple deposits.

Key words: potash deposit; mengyejing; sylvite; sedimentary environment; XRD; TEM-EDS; industry CT