

新疆罗布泊含钾地层矿物扫描电镜研究^{*}

孙小虹¹, 刘成林¹, 宣之强²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2 中化地质矿山总局地质研究院, 河北 涿州 072754)

摘 要 运用扫描电子显微镜对来自 ZK1200B 钻孔 1.12~53.00 m 处岩芯的部分样品进行了分析研究。据此较精确地划分出了 4 层含钾岩层, 发现有钾石盐、光卤石、杂卤石、泻利盐、硫锶钾石、天青石等固体盐类矿物, 其中的硫锶钾石和天青石矿物在新疆罗布泊地区属首次发现。钙芒硝岩层中含有硫锶钾石、天青石, 推断其锶可能来源于深部地层水(或油田水)的补给, 对罗布泊地区钾盐矿的成因研究具有重要意义。

关键词 矿物学; 钾盐矿床; 硫锶钾石; 天青石; 扫描电镜; 罗布泊; 新疆

中图分类号: P619.21⁺¹

文献标志码: A

Study of minerals in potassium-bearing strata of Lop Nur salt lake, Xinjiang, by means of scanning electron microscopy

SUN XiaoHong¹, LIU ChengLin¹ and XUAN ZhiQiang²

(1 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Institute of Geology, Bureau of Mining of China Chemical Industry, Zhuozhou 072754, Hebei, China)

Abstract

In this paper, some core samples from drill hole ZK1200B (1.12 ~ 53.00 m) were studied by means of SEM-EDS (scanning electron microscopy with an attached energy dispersive spectrometer) and, as a result, four potassium-bearing strata were precisely recognized. There are a lot of solid salt minerals, such as sylvite, carnallite, polyhalite, epsomite, kalistrontite and celestite. Among them, kalistrontite and celestite were discovered for the first time in Lop Nur. According to the fact that glauberite strata have kalistrontite or celestite, it is inferred that strontium was probably derived from the recharge of deep formation water (oilfield water). Such an inference will be undoubtedly of great significance for the genetic study of potash deposits in the Lop Nur salt lake of Xinjiang.

Key words: mineralogy, potash deposit, kalistrontite, celestite, scanning electron microscopy, Lop Nur, Xinjiang

新疆罗布泊为现代干盐湖, 罗北凹地为该干盐湖东北部的一个次级凹地(孟贵祥等, 2010; 本期第

611 页图 1)。1995 年至 2000 年, 由中国地质科学院王弼力研究员领导的课题组对该凹地进行了研究,

^{*} 本文得到国家自然科学基金重点项目(编号 40830420)资助

第一作者简介 孙小虹, 女, 1983 年生, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: sunxh1983@sohu.com

收稿日期 2010-03-18; 改回日期 2010-05-29。许德焕编辑。

确定其为特大“钙芒硝成储钾”型卤水钾矿床(王弼力等,2001;2006;刘成林等,2007;2008a)。对于卤水钾矿床而言,在其固体盐类矿物中,钾矿物的数量较少。然而,最近的研究(刘成林等,2008a)表明,在罗布泊,杂卤石等固体钾盐资源也具有一定的成矿潜力。经薄片、X光、微化、扫描电镜等分析,在罗布泊共鉴定出15种固体盐类矿物(杨智琛等,1997),其中,钾盐矿物有杂卤石、钾盐镁矾、钾石膏、光卤石和钾石盐;非钾盐矿物有钙芒硝、石膏、石盐等等。

本次研究对罗北凹地 ZK1200B 钻孔的部分岩芯样品进行了扫描电镜分析,鉴定出2种新的盐类矿物——硫锶钾石 $K_2Sr(SO_4)_2$ 和天青石 $SrSO_4$ 。硫锶钾石亦名钾锶矾,在中国首先发现于四川渠县农乐地区(莫琨,1987),后在兰坪-思茅盆地发现有少量存在(曲懿华,1997),而在罗布泊地区则尚属首次发现。天青石在中国青海、四川、湖北、陕西、江苏等地区资源量丰富,并富集成大型矿床(徐兴国,1984;薛天星,1999;葛文胜等,2001),但在新疆罗布泊亦属首次发现。在罗北凹地,硫锶钾石和天青石的发现对研究卤水的赋存状态、形成演变等均具有一定意义。

1 研究区地质背景

罗布泊位于欧亚大陆腹地、塔里木盆地的最东端,而且是塔里木盆地的最低洼处,其高程仅为海拔780 m。它北靠天山,西邻塔克拉玛干大沙漠,东南为阿尔金山。第四纪以来,强烈的喜马拉雅运动导致塔里木盆地西部抬升,东部相对沉降,使罗布泊成为塔里木盆地的汇水中心和积盐中心,出现盐湖沉积。本次研究的样品采自罗北凹地 ZK1200B 钻孔1.12 m至53.00 m处的岩芯,其对应的地层单位为上更新统的中部至全新统(王弼力等,2001)。ZK1200B 钻孔位于罗布泊罗北凹地的中部,其具体地理位置为 $40^{\circ}52'44''N$, $91^{\circ}05'54''E$ (刘成林等,1999)。

2 研究方法

近些年来,随着测试仪器、方法和技术的不断更新、改进和完善,扫描电镜-能谱仪在找钾及综合找矿中具有方便、快捷、准确等特点(宣之强等,2009)。刘成林等(2008b)及宣之强等(2009)利用扫描电镜

在新疆库车盆地深部找钾研究中获有重要发现。

本次研究使用中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心最新引进的扫描电镜-能谱仪(扫描电子显微镜型号为TESCAN-VEGA\LMU,能谱仪型号为Inca),对罗北凹地 ZK1200B 钻孔的部分岩芯样品进行了分析。

为保证扫描电镜分析结果的准确性,制样时,首先要慎重选取代表性强的样品,注意使分析断面新鲜并保持原始较平坦状态;然后,用导电性好的粘合剂将样品粘在金属样品台上,保存于凉爽干燥处备用。扫描电镜是依靠高能电子束轰击样品产生二次电子来进行样品的形貌图像分析,如果样品的导电性能不良,就会在样品上聚集电子,造成荷电,使图像模糊放电(王弼力等,1994),为防止出现这种情况,采用SBC-2型蒸碳仪,在样品表面喷镀一薄层(厚 $10\sim 20\text{\AA}$)导电性能良好的黑碳,镀膜仪的真空度优于 $2\times 10^{-3}\text{ Pa}$ 。

3 测试分析结果

对采自 ZK1200B 钻孔岩芯(1.12~53.00 m处)的部分样品进行了扫描电镜分析,发现岩层中有钾石盐、光卤石、钾镁矾、泻利盐、杂卤石、钠镁矾、硫锶钾石、天青石等众多有重要意义及成因指示意义的固体盐类矿物。由表1可知,在所分析样品中,共鉴定出2件样品含有硫锶钾石(样品号分别为B34和B41,对应的深度分别为26.68 m和31.80 m)(图1和图2),1件样品含有天青石(样品号为B37,对应的深度为28.60 m)(图3)。

扫描电镜分析结果表明,钻孔岩芯(从1.12 m至53.00 m)的岩性按矿物共生组合可划分为上、下2大层,或A、B、C、D 4小层,其特征如表1所示。

上层 埋深1.12~21.64 m,为一套含钾石盐、光卤石、钾镁盐的泻利盐岩、钙芒硝岩和钠镁矾岩。该层又分为2个小层:A层(1.12~9.65 m),为含钾石盐、光卤石、杂卤石、钠镁矾的泻利盐岩或钙芒硝岩(图4、图5、图6);B层(9.90~21.64 m),为含钾镁矾、泻利盐的钠镁矾岩(图7)。

下层 埋深23.25~53.00 m,为一套含天青石、硫锶钾石、杂卤石、泻利盐的钙芒硝岩。该层也分为2个小层:C层(23.25~34.85 m),为含天青石、硫锶钾石、泻利盐的钙芒硝岩(图1、图2、图3);D层(35.75~53.00 m),为含杂卤石、泻利盐的钙芒硝岩

表 1 罗布泊钾盐岩层(钻孔 ZK1200B)扫描电镜-能谱分析

Table 1 SEM-EDS analyses of potash rock strata(drill hole ZK1200B) in Lop Nur

样品号	深度/m	主要盐类矿物和岩性	岩性分层
B1	1.12	含钾石盐、钾镁矾、石盐、泻利盐的钙芒硝岩	A
B2	1.77	含钾石盐、石盐的泻利盐岩	
B3	2.18	含杂卤石的钙芒硝岩	
B4	3.18	含钾芒硝、石盐、泻利盐的钙芒硝岩	
B5	3.48	含光卤石、石膏的钙芒硝岩	
B6	5.80	含杂卤石、光卤石、石膏的泻利盐岩	
B8	7.04	含钾石盐、钠镁矾、泻利盐、石盐的钙芒硝岩	
B9	7.70	含软钾镁矾、石盐、芒硝、钠镁矾的钙芒硝岩	
B10	9.65	含钾石盐、石盐、白钠镁矾、泻利盐、石膏的钙芒硝岩	
B11	9.90	含杂卤石、芒硝的石盐岩	B
B13	10.48	含软钾镁矾、泻利盐的石盐岩	
B15	12.96	含钾石盐、软钾镁矾、钾芒硝、芒硝的钠镁矾岩	
B19	15.78	含软钾镁矾的石盐岩	
B20	16.67	含软钾镁矾、泻利盐、石盐的钠镁矾岩	
B25	20.82	含钾钙石盐的钠镁矾岩	
B26	20.88	钙芒硝质钠镁矾岩	
B27	21.64	钙芒硝质钠镁矾岩	
B29	23.25	含钾石膏的钙芒硝岩	C
B30	23.75	含泻利盐、石盐的粉砂岩	
B31	24.10	含泻利盐的钠镁矾质钙芒硝岩	
B33	26.15	含石盐、钙芒硝、泻利盐的钠镁矾岩	
B34	26.68	含硫锶钾石的泻利盐岩	
B37	28.60	含天青石、钠镁矾、石盐的钙芒硝岩	
B41	31.80	含硫锶钾石、钠镁矾、泻利盐的钙芒硝岩	
B45	34.49	含碎屑、泻利盐、石盐的钙芒硝岩	
B46	34.55	含石盐、泻利盐、钠镁矾的钙芒硝岩	
B47	34.85	含粉砂钙芒硝岩	
B49	35.75	含杂卤石、石盐、泻利盐、钠镁矾的钙芒硝岩	D
B51	37.72	含杂卤石、石盐、泻利盐的钙芒硝岩	
B53	41.40	含杂卤石、泻利盐、石盐的粉砂岩	
B56	46.50	含杂卤石、钾盐镁矾的钙芒硝岩	
B59	49.65	含石盐、泻利盐、粉砂的钙芒硝岩	
B60	51.17	含泻利盐、石盐的钙芒硝岩	
B61	51.74	含杂卤石、菱镁矿、黄铁矿、石盐、泻利盐的钙芒硝岩	
B62	53.00	含杂卤石、菱镁矿、石盐、钠镁矾、泻利盐的钙芒硝岩	

(图 8)。

4 讨论与结论

ZK1200B 钻孔共提取岩芯 234.74 m ,对应于下、中、上更新统及全新统 ;“针状石膏层”底板(深 6.7 m)为全新统与上更新统的分界线,钙芒硝向石膏的转变点 100 m 处为上更新统与中更新统的分界线(王弼力等,2001)。罗布泊地区的固体盐类矿物主要为钙芒硝和石膏(杨智琛等,1997 ;刘成林等,1999 ;王弼力等,2001),就钾盐矿物而言,仅在上更新统上部出现少量杂卤石,直到全新统上部才出现少量钾石膏、钾盐镁矾、光卤石和钾石盐。近来的研究(刘成林等,2003 ;2009)认为,罗布泊固体钾盐矿物薄层的出现可能与深部上升卤水的补给密切相关。如表 1 所示,在上更新统上部(B + C + D),除杂卤石外,还出现了硫锶钾石、钾镁矾等固体钾盐矿物,表明当时该地区湖水应该接受了富锶和富钾卤水的补给。

在湖盆环境中,外来锶的加入可能有 2 个来源 : ① 周边山系 ;② 深部油田水的补给。吴必豪等^①的研究指出,中国兰坪-思茅盆地存在少量硫锶钾石及

① 吴必豪,刘群,蔡克勤. 1995. 中国钾盐成矿条件与国外典型矿床的对比研究. 地质矿产部矿床地质研究所. 内部资料.

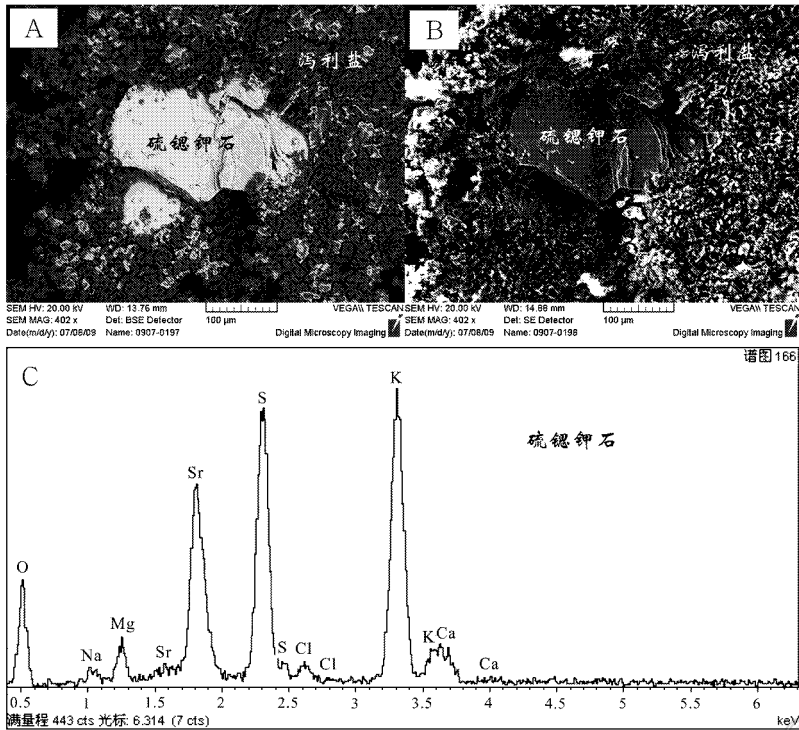


图 1 样品 B34 扫描电镜分析结果

A. 背散射成分图像,灰白色片状物为硫锶钾石,其周围灰色粒状物为泻利盐;B. 二次电子分析显微图像;C. 点分析谱图

Fig. 1 Scanning electron microscopic analytical results of sample B34

A. BSE composition image, in which gray-white mineral is kalsilite, whereas surrounding gray granular material is epsomite;

B. Image of second electron microprobe analysis; C. Spectrogram of point analysis

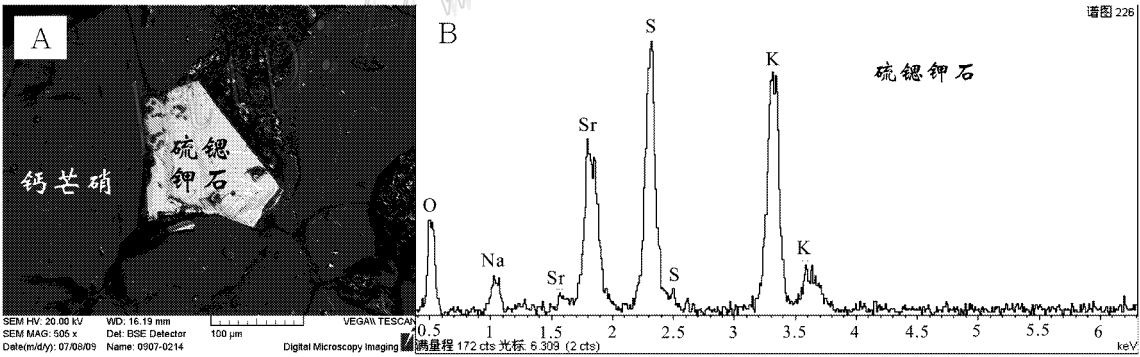


图 2 样品 B41 扫描电镜分析结果

A. 背散射成分图像,灰白色片状物为硫锶钾石,周围灰色块状物是钙芒硝;B. 点分析谱图

Fig. 2 Scanning electron microscopic analytical results of sample B41

A. BSE composition image, in which gray-white mineral is kalsilite, whereas surrounding gray massive material is glauberite;

B. Spectrogram of point analysis

天青石矿物,并推测其与深部卤水补给密切相关。塔里木盆地的油田水为典型的氯化钙型水,具有高矿化度、富钙、富锶等特点(蔡春芳等,1997)。刘成林等(2007)认为,由于新构造运动,第四纪时期可能

在塔里木盆地边缘低压带及构造活动带溢出油田水,从而形成油田水对罗布泊地区的补给。因此,有理由推断,在地层 35.75~53.00 m 处(D层),罗布泊盐湖由于受到盆地“富钙”油田水的补给,从而形

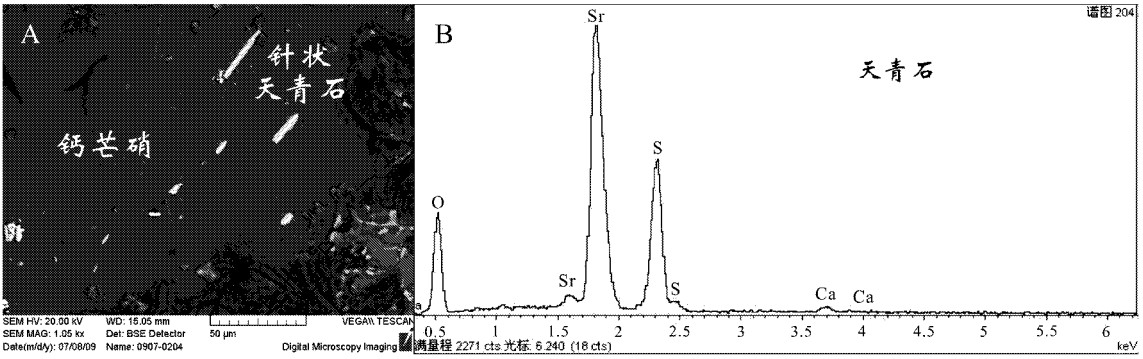


图 3 样品 B37 扫描电镜分析结果

A. 背散射成分图像 ,白色针状物为天青石 ,周围灰色块状物是钙芒硝 ;B. 点分析谱图
Fig. 3 Scanning electron microscopic analytical results of sample B37

A. BSE composition image , in which white needle grain is celestite , whereas surrounding gray massive material is glauberite ;
B. Spectrogram of point analysis

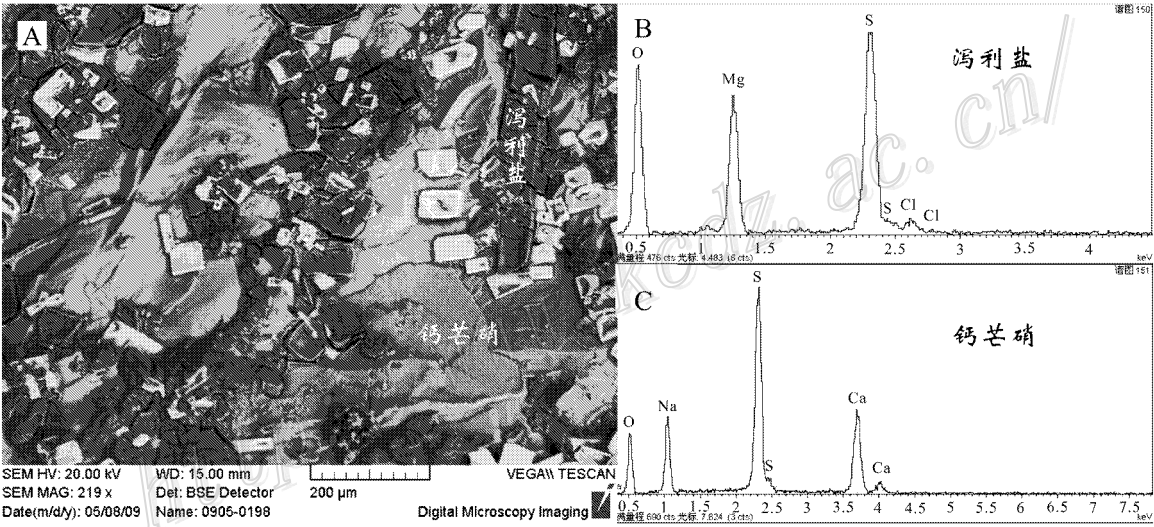


图 4 样品 B4 扫描电镜分析结果

A. 背散射成分图像 ,灰色块状物为钙芒硝 ,灰黑色龟裂纹状物为泻利盐 ,白色者是石盐 ;B和 C. 点分析谱图
Fig. 4 Scanning electron microscopic analytical results of sample B4

A. BSE composition image , in which gray massive material is glauberite , grayish black polyagonal laminated material is epsomite ,
and white material is halite ;B and C. Spectrogram of point analysis

成了大量钙芒硝岩 ,进入到地层 23.25~34.85 m 处 (C 层),由于蒸发作用 ,湖水不断接受深部富锶卤水的补给 ,当卤水中的锶浓缩到一定程度 ,就可能随钙芒硝等矿物一起沉淀 ,从而形成了含硫锶钾石的钙芒硝岩 (图 2)。此外 ,在钙芒硝晶体内还发现有天青石矿物 (图 3),可进一步说明当时湖水可能接受了深部地层富钙、锶油田水的补给。

C 层 +D 层合为下层 ,其特点是湖水富钙和钠 ,形成大量钙芒硝岩层 ,因蒸发作用强烈及深部富钾、

锶的卤水不断补给 ,形成了早期的杂卤石和硫锶钾石、天青石等矿物。进入地层 9.90~21.64 m 处 (B 层),湖水因之前已形成了大量的钙芒硝岩而缺钙 ,但仍富钾 ,所以形成了含钾镁矾、泻利盐的钠镁矾岩。由于湖水体积巨大 ,不断蒸发浓缩 ,湖水按自然蒸发结晶路线达到钾盐沉积最高级阶段 ,即含钾石盐、光卤石的钙芒硝岩和顶端的泻利盐岩 ,此时岩层深度为 1.12~9.65 m (A 层)。上述 A、B、C、D 4 个阶段 ,与现今新疆国投罗布泊大盐田的蒸发池 (胡小

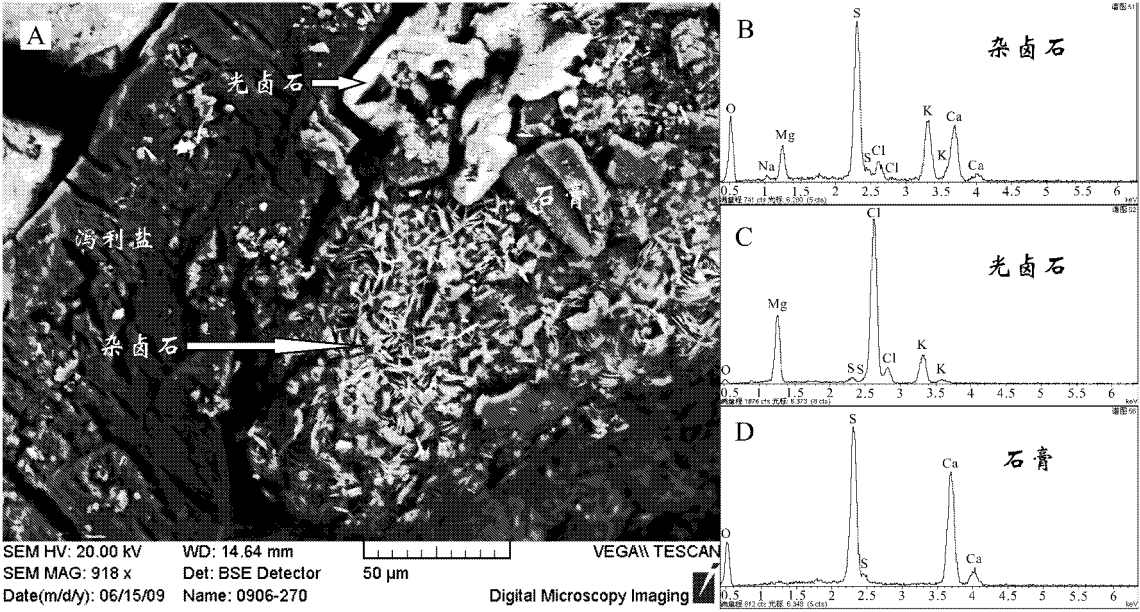


图 5 样品 B6 扫描电镜分析结果

A. 背散射成分图像, 针状物为杂卤石, 灰白色粒状者为光卤石, 龟裂块状者为泻利盐, 柱状物为石膏; B, C 和 D 为点分析谱图
Fig. 5 Scanning electron microscopic analytical results of sample B6
A. BSE composition image, in which needle material is polyhalite, white gray material is carnallite, polygonal massive material is epsomite, and prismatic material is gypsum; B, C and D. Spectrogram of point analysis

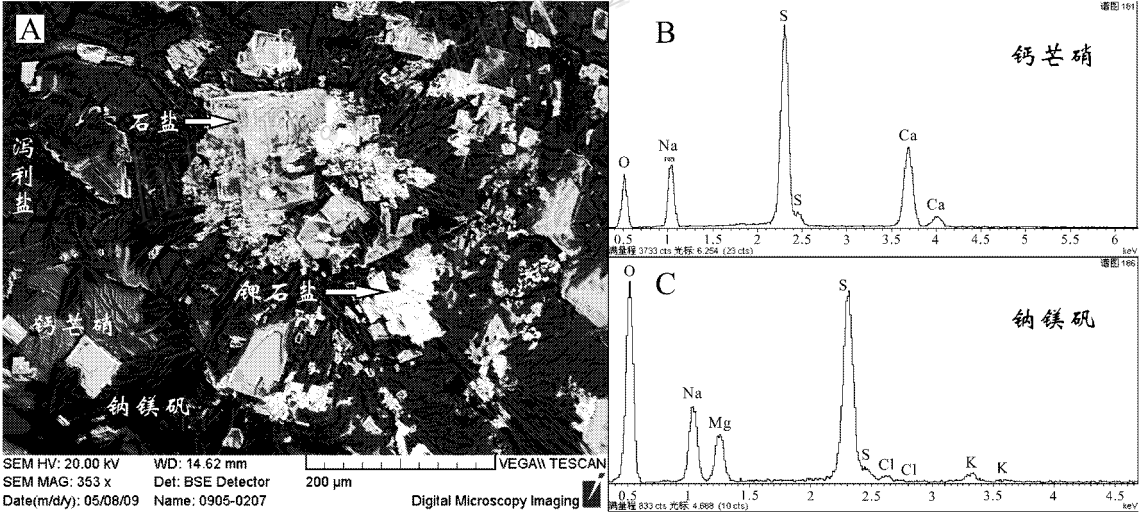


图 6 样品 B8 扫描电镜分析结果

A. 背散射成分图像, 灰色块状物为钙芒硝, 灰黑色叶片状者为钠镁矾, 灰白色者为石盐, 白色的是钾石盐; B 和 C. 点分析谱图
Fig. 6 Scanning electron microscopic analytical results of sample B8
A. BSE composition image, in which gray massive material is glauberite, grayish black flake is loewelite, grayish white material is halite, and white material is sylvite; B and C. Spectrogram of point analysis

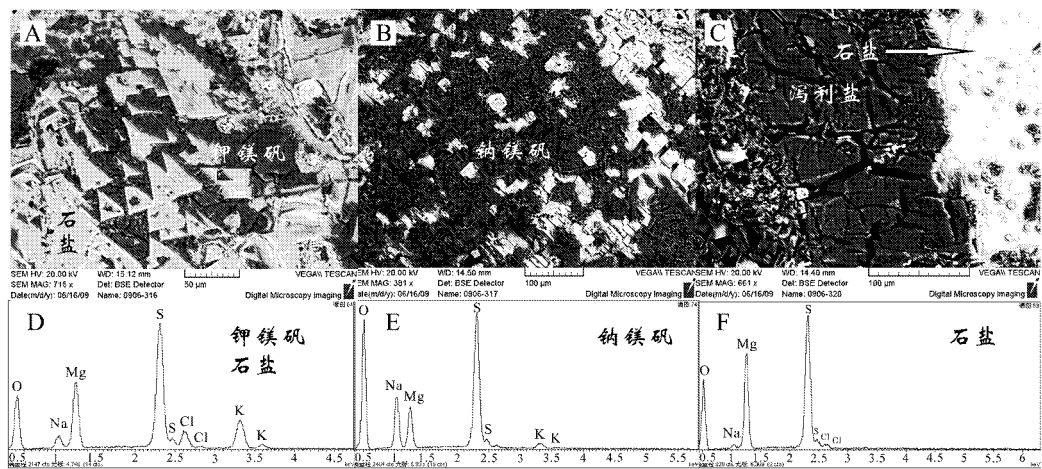


图 7 样品 B20 扫描电镜分析结果

A. 背散射成分图像,白色者为石盐,灰色者为钾镁矾;B. 背散射成分图像,灰黑色者为钠镁矾,白色者为石盐;C. 背散射成分图像,裂纹状者为泻利盐,白色者为石盐;D. 选区分析谱图;E和F. 点分析谱图

Fig. 7 Scanning electron microscopic analytical results of sample B20

A. BSE composition image , in which white material is halite , whereas gray material is kalibrodite ;B. BSE composition image , in which grayish black material is loewite , whereas white material is halite ;C. BSE composition image , in which crack material is epsomite , whereas white material is halite ;D. Spectrogram of selected district analysis ;E and F. Spectrogram of point analysis

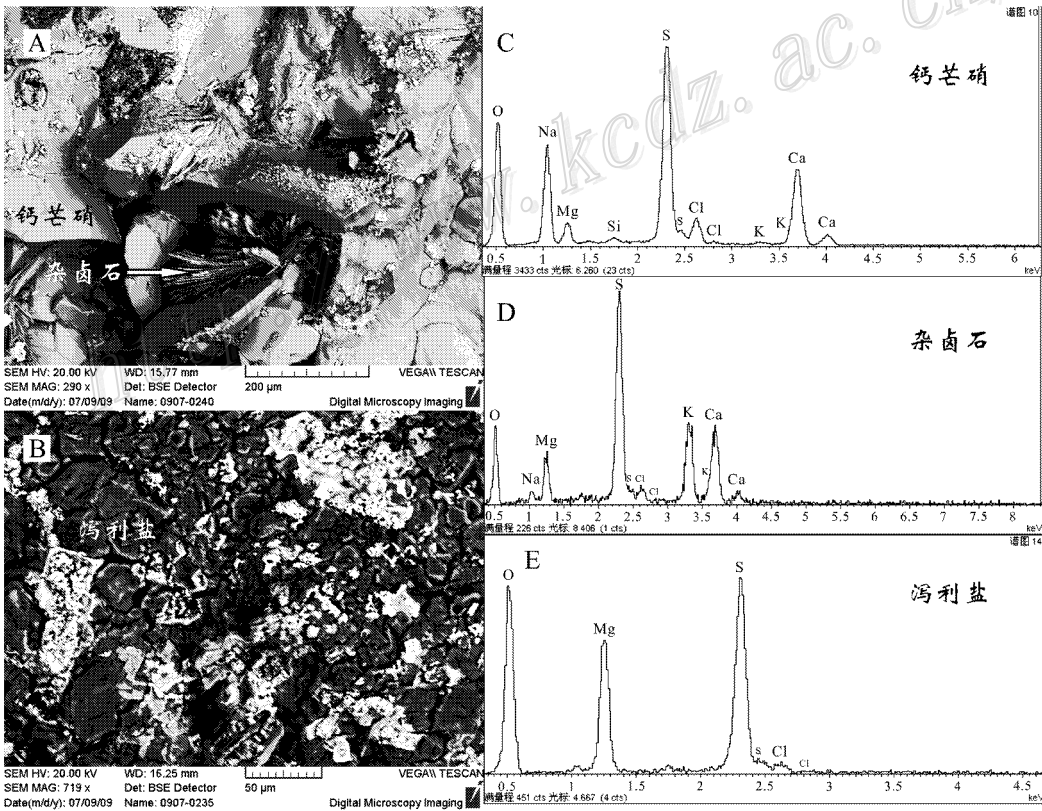


图 8 样品 B51 扫描电镜分析结果

A. 背散射成分图像,灰色块状者为钙芒硝,放射状者为杂卤石;B. 背散射成分图像,灰黑色裂纹状者为泻利盐,白色者为石盐;C、D和E. 点分析谱图

Fig. 8 Scanning electron microscopic analytical results of sample B51

A. BSE composition image , in which gray massive material is glauberite , whereas radiate material is polyhalite ;B. BSE composition image , in which grayish black crack material is epsomite , while white material is halite ;C, D and E. Spectrogram of point analysis

进 2003)非常相似。因其晶间卤水是干盐湖的残留卤水 ,所以 ,该盐田中只有钠盐池、钾镁盐池、光卤石池及最终的泻利盐池 ,而钙芒硝已沉淀为固体矿层。

志 谢 在扫描电子显微镜-能谱分析中得到中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心魏宝和朱德升两位高级工程师的大力帮助 ,在此表示感谢 !

References

- Cai C F , Chen C P , Li W , Liu C Q , Ma T and Mei B W. 1997. The coaction of fluids and rocks of Tarim Basin[M]. Beijing : Geol. Pub. House.
- Ge W S and Cai K Q. 2001. Mineralization system of celestite deposits in northwestern Qaidam Basin[J]. *Geoscience* , 15(1): 53-58 (in Chinese with English abstract).
- Hu X J. 2003. Study of exploitation on the brine of Luobupo salt lake [J]. *Geology of Chemical Minerals* , 25(2): 103-109 (in Chinese with English abstract).
- Liu C L , Wang M L and Jiao P C. 1999. Hydrogen , oxygen , strontium and sulfur isotopic geochemistry and potash-forming material sources of Lop Nur salt lake , Xinjiang[J]. *Mineral Deposits* , 18(3): 268-275 (in Chinese with English abstract).
- Liu C L , Jiao P C , Wang M L , Li S D and Chen Y Z. 2003. Ascending brine fluids in Quaternary salty lake of Lop Nur in Xinjiang and their significance in potash formation[J]. *Mineral Deposits* , 22(4): 386-392 (in Chinese with English abstract).
- Liu C L , Jiao P C , Wang M L and Chen Y Z. 2007. Sedimentation of glauberite and its effect on potash deposits formation in Lop Nur salt lake , Xinjiang , China[J]. *Mineral Deposits* , 26(3): 322-329 (in Chinese with English abstract).
- Liu C L , Wang M L , Jiao P C , Fan W D , Chen Y Z , Yang Z C and Wang J G. 2008a. Sedimentary characteristics and origin of polyhalite in Lop Nur Salt Lake , Xinjiang[J]. *Mineral Deposits* , 27(6): 705-713 (in Chinese with English abstract).
- Liu C L , Jiao P C , Chen Y Z , Wang M L and Xuan Z Q. 2008b. The discovery and significance of potassium salt minerals in Tertiary evaporate strata of Kuqa Basin[A]. In : *Proceedings of the Ninth National Symposium on Deposits*[C]. Beijing : Geol. Pub. House. 374-375 (in Chinese with English abstract).
- Liu C L , Wang M L , Jiao P C and Chen Y Z. 2009. The probing of regularity and controlling factors of potash deposits distribution in Lop Nur Salt Lake , Xinjiang[J]. *Acta Geoscientica Sinica* , 30(6): 796-802 (in Chinese with English abstract).
- Meng G X , Yan J Y , Lü Q T , Jiao P C , Yan H , Liu C F and Liu C L. 2010. New discovery of Lop Nur salt basin structure and its significance for potash deposit exploration[J]. *Mineral Deposits* , 29(4): 609-615 (in Chinese with English abstract).
- Mo M. 1987. The first discovery of kalistrontite in China and its significance in search for potash deposits[J]. *Acta Mineralogica Sinica* , 7(2): 154-159 (in Chinese with English abstract).
- Qu Y H. 1997. On affinity of potassium bearing brine in Lanping Simao Basin , China to that in Ale Basin , Thailand , and location of target areas for potassium hunting in former basir[J]. *Geology of Chemical Minerals* , 19(2): 81-98 (in Chinese with English abstract).
- Wang M L , Liu C L , Li C H , Wei B H , He J F and Xuan Z Q. 1994. Microscopic pores in the brine-bearing layers in Kunteyi potash deposit with reference to SEM researches[J]. *Geology of Chemical Minerals* , 16(1): 1-9 (in Chinese with English abstract).
- Wang M L , Liu C L , Jiao P C , Han W T , Song S S , Chen Y Z , Yang Z C , Fan W D , Li T Q , Li C H , Feng J X , Chen J Z , Wang X M , Yu Z H and Li Y W. 2001. Saline lake potash resources in the Lop Nur , Xinjiang[M]. Beijing : Geol. Pub. House.
- Wang M L , Liu C L and Jiao P C. 2006. Investigation and scientific research progress and exploitation present situation of Lop Nur Salty Lake potash deposits , Xinjiang , China[J]. *Geological Review* , 52(6): 757-764 (in Chinese with English abstract).
- Xu X G. 1984. Genetic types of celestite deposits and their prospecting direction discussed from strontium geochemistry[J]. *Geological Review* , 30(2): 146-154 (in Chinese with English abstract).
- Xuan Z Q , Liu C L and Wang M L. 2009. The application on prospecting potash with scanning electron microscope in ancient salt basir[J]. *Geology of Chemical Minerals* , 31(3): 183-192 (in Chinese with English abstract).
- Xue T X. 1999. Celestite(Sr) deposits in China[J]. *Geology of Chemical Minerals* , 21(3): 141-148 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z C and Liu C L. 1997. The current situation of research on solid salt minerals of Luobei depression , Lop Nur , Xinjiang , China[J]. *Geological Review* , 43(6): 592 , 606 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡春芳 , 陈传平 , 李 伟 , 刘常青 , 马 亭 , 梅博文. 1997. 塔里木盆地流体-岩石相互作用[M]. 北京 : 地质出版社.
- 葛文胜 , 蔡克勤. 2001. 柴达木盆地西北部锶矿成矿系统研究[J]. *现代地质* , 15(1): 53-58.
- 胡小进. 2003. 罗布泊卤水的相图分析研究[J]. *化工矿产地质* , 25(2): 103-109.
- 刘成林 , 王弼力 , 焦鹏程. 1999. 新疆罗布泊盐湖氢氧硫同位素地球化学及钾矿成矿物质来源[J]. *矿床地质* , 18(3): 268-275.
- 刘成林 , 焦鹏程 , 王弼力 , 李树德 , 陈永志. 2003. 新疆罗布泊第四纪

盐湖上升流体及其成钾意义[J]. 矿床地质, 22(4): 386-392.

刘成林, 焦鹏程, 王弼力, 陈永志. 2007. 罗布泊盐湖巨量钙芒硝沉积及其成钾效应分析[J]. 矿床地质, 26(3): 322-329.

刘成林, 王弼力, 焦鹏程, 樊卫东, 陈永志, 杨智琛, 王敬国. 2008a. 罗布泊杂卤石沉积特征及成因机理探讨[J]. 矿床地质, 27(6): 705-713.

刘成林, 焦鹏程, 陈永志, 王弼力, 宣之强. 2008b. 库车盆地第三系岩盐地层钾矿物组合发现及其意义[A]. 见：第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京：地质出版社, 374-375.

刘成林, 王弼力, 焦鹏程, 陈永志. 2009. 罗布泊盐湖钾盐矿床分布规律及控制因素分析[J]. 地球学报, 30(6): 796-802.

孟贵祥, 严加永, 吕庆田, 焦鹏程, 颜辉, 刘传福, 刘成林. 2001. 罗布泊盐湖盆地结构新发现及找钾意义[J]. 矿床地质, 29(4): 609-615.

莫珉. 1987. 钾锶矾在我国的首次发现及其找钾意义[J]. 矿物学报, 7(2): 154-159.

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--兼论该区找钾有利层位和地区[J]. 化工矿产地质, 19(2): 81-98.

王弼力, 刘成林, 李长华, 魏宝和, 何锦发, 宣之强. 1994. 青海昆特依盐湖富钾卤水储层扫描电镜分析[J]. 化工矿产地质, 16(1): 1-9.

王弼力, 刘成林, 焦鹏程. 2006. 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, 52(6): 757-764.

王弼力, 刘成林, 焦鹏程, 韩蔚田, 宋松山, 陈永志, 杨智琛, 樊卫东, 李廷祺, 李长华, 冯金星, 陈建忠, 王新民, 于志鸿, 李亚文. 2001. 罗布泊盐湖钾盐资源[M]. 北京：地质出版社.

徐兴国. 1984. 从锶的地球化学特征探讨天青石矿床的成因类型及找矿方向[J]. 地质论评, 30(2): 146-154.

宣之强, 刘成林, 王弼力. 2009. 古代盐盆找钾中扫描电子显微镜技术应用[J]. 化工矿产地质, 31(3): 183-192.

薛天星. 1999. 中国(天青石)锶矿床概述[J]. 化工矿产地质, 21(3): 141-148.

杨智琛, 刘成林. 1997. 罗布泊罗北凹地固体盐类矿物学研究进展[J]. 地质论评, 43(6): 592-606.

<http://www.kcdz.ac.cn/>