

# 松辽盆地宝龙山铀矿床中铀酰碳酸盐矿物的发现与砂岩型铀矿成矿的新途径

丁波,刘红旭,刘章月,邱林飞,贾立城,章展铭,黄少华

(中核集团铀资源勘查与评价重点实验室,核工业北京地质研究院,北京 100029)

**Discovery of uranyl carbonate mineral in the Baolongshan uranium deposit in Songliao Basin and mineralization of sandstone-hosted uranium deposits**

DING Bo, LIU Hongxu, LIU Zhangyue, QIU Linfei, JIA Licheng, ZHANG Zhanmin, HUANG Shaohua

(CNNC Key Laboratory of Uranium Resources Exploration and Evaluation Technology, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing, 100029)

## 1 研究目的(Objective)

国内中新生代沉积盆地(伊犁、吐哈、鄂尔多斯、二连、松辽)中砂岩型铀矿中铀矿物类型以沥青铀矿或铀石为主,也可见少量的次生铀矿物,如水硅铀矿,与铀石可以相互转化。笔者在研究松辽盆地宝龙山铀矿床铀赋存状态过程中发现少量的铀酰碳酸盐矿物,本文运用扫描电镜、能谱与红外吸收光谱分析等方法对铀酰碳酸盐矿物形貌特征及共生矿物开展细致研究,并以铀酰碳酸盐矿物形成条件为切入点,探讨宝龙山铀矿床铀矿石中铀酰碳酸盐矿物的形成机理,阐明铀酰碳酸盐矿物的形成过程及对铀成矿的指示意义,为砂岩型铀矿成矿过程中铀沉淀富集提供一种新途径,对丰富砂岩型铀矿成矿机理具有重要的理论意义。

## 2 研究方法(Methods)

铀矿石样品来源于宝龙山铀矿床,岩性为灰白色含泥砾粗砂岩,钙质胶结,碎屑成分以石英及岩屑为主,少量长石碎屑,呈孔隙-接触式胶结,可见少量的炭屑与浸染状分布的细粒黄铁矿。扫描电镜、能谱与红外吸收光谱分析皆在核工业北京地质研究院分析测试中心完成,其中扫描电镜分析所用实验仪器为 Nova Nano SEM450 型扫描电子显微镜,能谱仪 EDAX-GENESIS,工作电压 20 kV,电流 100 pA,执行标准为 JY/T 010-1996《分析型扫描电子显微镜方法通则》;红外吸收光谱分析

采用原位透射法,将待测光薄片固定在红外显微系统的载物台上,调节至最佳测量位置,随即进行单点原位红外光谱检测。

## 3 研究结果(Results)

通过扫描电镜与能谱分析,宝龙山铀矿床铀矿石中发育大量的富铀碳酸盐矿物,常围绕或交代铁白云石呈包壳状产出,其中铁白云石常遭受溶蚀形成溶蚀孔(图 1a, c)。此外,铀矿石常可见热液蚀变矿物胶状黄铁矿、铁白云石与富铀碳酸盐矿物共生的现象,与铀矿物常围绕或交代黄铁矿产出不同,富铀碳酸盐矿物基本围绕与交代铁白云石产出(图 1b)。

宝龙山铀矿床铀矿石中富铀碳酸盐矿物的红外吸收光谱特征见图 1d。其中  $1560\text{ cm}^{-1}$  与  $1080\text{ cm}^{-1}$  波数位置上的吸收带是  $[\text{CO}_3]^{2-}$  络阴离子团的反对称伸缩振动,  $890\text{ cm}^{-1}$  与  $800\text{ cm}^{-1}$  波数位置上的吸收带是  $[\text{UO}_2]^{2+}$  离子团的反对称伸缩振动,上述研究表明富铀碳酸盐矿物成分包括  $[\text{CO}_3]^{2-}$  络阴离子与  $[\text{UO}_2]^{2+}$  离子团,结合能谱定性分析铀酰碳酸盐矿物含  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ,认为其为六价铀酰碳酸盐矿物。

宝龙山铀矿床中发育大量铀酰碳酸盐矿物,与热液蚀变矿物胶状黄铁矿、铁白云石关系密切,基本围绕与交代铁白云石产出,指示其形成过程与研究区普遍发育的辉绿岩活动有关。辉绿岩活动伴随大量的  $\text{CO}_2$  充注至含矿层中为铀酰碳酸盐矿物的形成提供了所需的  $\text{CO}_3^{2-}$ ,热液蚀变矿物铁白云石的溶蚀为铀酰碳酸盐矿物沉淀提供  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{Mg}^{2+}$  等阳离子,使

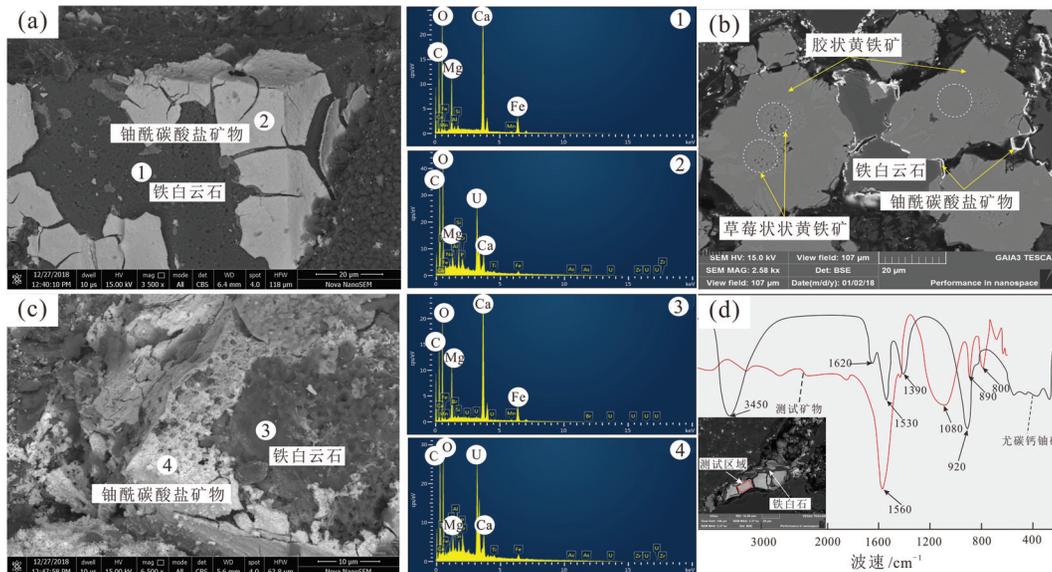


图1 松辽盆地宝龙山铀矿床中铀酰碳酸盐矿物形貌特征与共生矿物组合及其红外光谱特征

Fig.1 Morphological characteristics of uranyl carbonate minerals and assemblages of paragenetic minerals and their infrared spectrum characteristics in the Baolongshan uranium deposit, Songliao Basin

得铀酰碳酸盐矿物围绕与交代铁白云石产出。

辉绿岩活动使得含矿层整体增温,导致 $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2]^{2-}$ 与 $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ 络合离子的稳定常数增大,不易发生分解,即高温水介质下U(VI)被还原需要更强的还原条件。此外,辉绿岩脉形成过程中造成大量 $\text{CO}_2$ 充注至含矿层中,可使得氧化带中的U(VI)呈 $\text{Ca-U(VI)-CO}_3^{2-}$ 的方式进行迁移,常温条件下 $\text{UO}_2^{2+}$ 被还原的临界Eh值为0.284 V,而碳酸铀酰络合物被还原的临界Eh值在0.086~ -0.046 V变化,说明 $\text{Ca-U(VI)-CO}_3^{2-}$ 络合物被还原需要介质环境的氧化还原电位更低,即稳定的 $\text{Ca-U(VI)-CO}_3^{2-}$ 三元络合物的形成会极度地抑制U(VI)被还原,即使在强还原条件下,当溶液中同时存在 $\text{Ca}^{2+}$ 与 $\text{CO}_3^{2-}$ 时,U(VI)的还原反应就会趋于停止,而含矿层姚家组为一套在干旱一半干旱条件下形成的以红色为主局部为灰色的内陆碎屑岩沉积建造,缺乏大量的有机质等还原性物质,造成U(VI)未能被还原成U(IV)铀矿物围绕黄铁矿产出,而形成铀酰碳酸盐矿物围绕或交代铁白云石产出。

#### 4 结论(Conclusions)

(1)松辽盆地宝龙山铀矿床中发育有铀酰碳酸

盐矿物,与热液蚀变矿物胶状黄铁矿、铁白云石关系密切,基本围绕与交代铁白云石产出,指示其形成与辉绿岩活动有关。

(2)辉绿岩活动使得含矿层整体增温以及局部以稳定 $\text{Ca-U(VI)-CO}_3^{2-}$ 络合物迁移,造成U(VI)未能被还原成U(IV)铀矿物围绕黄铁矿产出,而是形成铀酰碳酸盐矿物围绕与交代铁白云石产出,其中辉绿岩活动产生的大量 $\text{CO}_2$ 为铀酰碳酸盐矿物的形成提供了所需的 $\text{CO}_3^{2-}$ ,铁白云石的溶蚀为铀酰碳酸盐矿物沉淀提供 $\text{Ca}^{2+}$ 或 $\text{Mg}^{2+}$ 等阳离子。

#### 5 致谢(Acknowledgement)

衷心感谢核工业北京地质研究院范光老师与核工业243大队给予本文的帮助。

基金项目:本文为国家科技部973计划项目(2015CB453004)和松辽盆地砂岩型铀矿成矿机理与成矿规律研究项目([2017]1403)联合资助的成果。

作者简介:丁波,男,1991年生,工程师,从事砂岩型铀矿成矿机理与成矿作用等方面的研究,E-mail:18773485100@163.com。