

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

# 层间氧化带砂岩型铀矿床的铁物相特征 及其地球化学意义

——以伊犁盆地511铀矿床和吐哈盆地十红滩铀矿床为例

彭新建<sup>1, 2)</sup> 闵茂中<sup>1)</sup> 王金平<sup>1, 3)</sup> 贾恒<sup>3)</sup> 魏观辉<sup>3)</sup> 王建峰<sup>3)</sup>

1) 南京大学地球科学系, 210093; 2) 中国核工业地质局, 北京, 100013

3) 核工业西北203研究所, 陕西咸阳, 712000

**内容提要** 层间氧化带砂岩型铀矿床在空间上与层间氧化带各亚带的分布具有严格的对应关系。铁元素的物相特征是其所处地球化学环境变化的敏感标志。 $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ,  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ,  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}$ 等比值是反映地球化学环境变化的重要指标。应用铁物相特征及其以上比值, 可以简捷地对层间氧化带进行亚带的划分, 这对指导铀矿勘查具有重要理论和实践意义。过渡带中菱铁矿( $\text{FeCO}_3$ )和黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )等对地球化学环境敏感的矿物的富集, 指示了有利于铀成矿的中性—弱酸性、还原的地球化学环境。

**关键词** 层间氧化带 砂岩型铀矿 铁物相 地球化学

自20世纪90年代以来, 层间氧化带砂岩型铀矿成了中国北方中、新生代盆地中铀矿勘查的主攻类型之一(Zou et al., 2000; 程纪星等, 2000; 权志高等, 2002; 李德平等, 2002)。长期的勘查经验表明, 如何简捷地进行层间氧化带的定位和亚带的划分, 是提高该类型铀矿勘查效益的关键因素之一。铁矿物是层间氧化带中广泛发育的原生和次生矿物, 并具有对地球化学环境变化十分敏感的特性, 因此铁物相是指示层间氧化带中地球化学环境变化的敏感标志之一, 相关的 $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ,  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ,  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}$ 等比值能反映地球化学环境的变化规律。本研究以伊犁511铀矿床和吐哈十红滩铀矿床为研究对象, 拟通过研究层间氧化带各亚带中铁物相特征及相关指标的变化规律, 来分析层间氧化带中地球化学环境的变化规律, 提出简捷进行层间氧化带的亚带划分、确定层间氧化带中有利于铀成矿的地球化学环境的方法。

## 1 地质背景与矿床地质特征

前人对伊犁盆地与吐哈盆地的地质、大地构造特征及与铀成矿的关系等进行了较全面系统的研究(李胜祥, 1996; 古抗衡, 1997; 冯乔等, 1997; 秦明宽

等, 1999; 潘蔚, 2000; 王保群, 2000)。

511矿床位于伊犁盆地南缘, 矿床产于中—下侏罗统水西沟群( $J_{1-2sk}$ )陆相暗色含煤碎屑岩建造中。含矿建造中发育多层层间氧化带, 层间氧化带在剖面上呈叠瓦状产出, 地层向北倾斜, 倾角 $3^\circ\sim 8^\circ$ , 层间氧化带前锋线呈蛇曲状展布。矿体形态以卷状为主, 其次为板状和似层状。矿石结构疏松, 呈深灰色、灰黑色或灰色。铀矿物以沥青铀矿为主, 其次为铀石, 另有含铀钛铁矿和碎屑状钛铀矿、吸附态铀等<sup>①</sup>(秦明宽等, 1999)。

十红滩铀矿床位于吐哈盆地西南缘, 含矿主岩为侏罗系水西沟群西山窑组( $J_{2x}$ )砂砾岩、砂岩。矿床分为南、北两个矿带: 南矿带产于西山窑组下段中, 其中发育两层层间氧化带; 北矿带产于西山窑组中、上段中, 其中发育四层层间氧化带。矿体在空间上严格受层间氧化带控制, 位于层间氧化带前锋线或靠近顶、底板的上、下翼。在南矿带由于受到十红滩鼻状隆起的影响, 矿体大多数呈板状、复杂的卷状; 在北矿带则呈简单的卷状产出。层间氧化带倾向北东, 倾角小于 $20^\circ$ , 呈叠瓦状产出, 其前锋线呈蛇曲状展布<sup>②</sup>。据研究, 该矿床中铀主要以吸附形式存在( $45\%\sim 51\%$ ), 在富铀矿物( $U>0.1\%$ )中, 有超

注: 本文为核工业铀矿地质科研项目(编号 HD2001-36)、国家自然科学基金项目(编号 40173031)和科技部攻关项目(编号 2001BA609A-07-13)的成果。

收稿日期: 2002-07-11; 改回日期: 2002-11-27; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 彭新建, 男, 1966年生。博士研究生, 高级工程师, 地球化学专业。通讯地址: 100013, 北京市 762信箱; 电话: 010-64215326; 传真: 010-64211783; Email: p\_xj@263.net。

显微的沥青铀矿、铀石,并见少量钛铀矿、含铀钛、铁氧化物、含铀锆石以及独居石等(权志高等,2002)。该类矿床的层间氧化带具较好的后生蚀变分带特征,本文综合各种分带方法,简洁地概括为氧化带、氧化-还原过渡带和原生带等三个亚带。

在 1.00%~1.50%之间。表明岩石、矿石中全铁含量变化不大,在铁的迁移中基本处于动态平衡。

蚀源区硅酸盐中铁和其他含铁矿物是研究区地层中铁的主要来源,但层间氧化带各亚带中硅酸盐

表 1 伊犁盆地 511 铀矿床和吐鲁番—哈密盆地十红滩铀矿床铁物相分析结果

Table 1 Analyses of the ferrum phases of the No. 511 uranium deposit in Ili basin and the Shihongtan uranium deposit in Turpan-Hami deposit

| 取样<br>位置    |             | 样号  | TFe  | FeFeCO <sub>3</sub> | FeFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeFeS <sub>2</sub> | Fe硅酸盐 | FeFe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | 陨石 Fe | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> |       |
|-------------|-------------|-----|------|---------------------|----------------------------------|--------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|             |             |     | (%)  |                     |                                  |                    |       | (×10 <sup>-6</sup> )             |       |                |                |                |                |       |
| 511 矿床 48 线 | 氧化带         | Y1  | 1.01 | 0.03                | 0.76                             | 0.05               | 0.11  | 25.32                            | 11    | 0.75           | 0.08           | 0.10           | 8.97           |       |
|             |             | Y2  | 0.87 | 0.04                | 0.67                             | 0.05               | 0.08  | 98.4                             | 11    | 0.77           | 0.10           | 0.09           | 7.48           |       |
|             |             | Y3  | 1.48 | 0.02                | 0.73                             | 0.38               | 0.33  | 20.26                            | 45    | 0.49           | 0.27           | 0.22           | 1.82           |       |
|             |             | Y4  | 0.68 | 0.02                | 0.36                             | 0.11               | 0.13  | 15.19                            | 12    | 0.52           | 0.19           | 0.19           | 2.72           |       |
|             |             | Y5  | 0.60 | 0.12                | 0.27                             | 0.13               | 0.08  | 20.98                            | 30    | 0.45           | 0.41           | 0.13           | 1.11           |       |
|             |             | Y6  | 0.38 | 0.01                | 0.18                             | 0.07               | 0.06  | 17.37                            | 28    | 0.48           | 0.22           | 0.14           | 2.16           |       |
|             | 过渡带         | Y7  | 0.39 | 0.12                | 0.08                             | 0.07               | 0.08  | 36.9                             | 10    | 0.22           | 0.50           | 0.20           | 0.43           |       |
|             |             | Y8  | 0.26 | 0.15                | 0.02                             | 0.04               | 0.04  | 18.09                            | 8     | 0.08           | 0.76           | 0.15           | 0.11           |       |
|             |             | Y9  | 0.57 | 0.04                | 0.15                             | 0.18               | 0.09  | 48.48                            | 111   | 0.26           | 0.39           | 0.16           | 0.67           |       |
|             |             | Y10 | 1.41 | 0.63                | 0.39                             | 0.19               | 0.09  | 115                              | 1013  | 0.28           | 0.58           | 0.07           | 0.48           |       |
|             |             | Y11 | 2.66 | 0.98                | 0.48                             | 0.71               | 0.25  | 20.26                            | 2146  | 0.18           | 0.64           | 0.09           | 0.28           |       |
|             |             | Y12 | 0.37 | 0.06                | 0.06                             | 0.18               | 0.06  | 15.19                            | 11    | 0.17           | 0.65           | 0.16           | 0.26           |       |
|             | 原生带         | Y13 | 0.47 | 0.05                | 0.20                             | 0.15               | 0.06  | 18.09                            | 21    | 0.43           | 0.42           | 0.13           | 1.03           |       |
|             |             | Y14 | 0.49 | 0.05                | 0.22                             | 0.13               | 0.08  | 14.47                            | 11    | 0.44           | 0.37           | 0.16           | 1.18           |       |
| 十红滩铀矿床 31 线 | 氧化带         | T1  | 1.48 | 0.14                | 1.02                             | 0.17               | 0.11  | 23.15                            | 197   | 0.69           | 0.21           | 0.07           | 3.2            |       |
|             |             | T2  | 1.17 | 0.13                | 0.77                             | 0.15               | 0.09  | 18.09                            | 168   | 0.66           | 0.24           | 0.08           | 2.71           |       |
|             |             | T3  | 1.22 | 0.10                | 0.74                             | 0.22               | 0.15  | 18.09                            | 66    | 0.61           | 0.27           | 0.12           | 2.28           |       |
|             |             | T4  | 1.40 | 0.17                | 0.81                             | 0.11               | 0.14  | 15.19                            | 12    | 0.58           | 0.20           | 0.10           | 2.89           |       |
|             |             | T5  | 1.60 | 0.18                | 0.94                             | 0.19               | 0.17  | 17.37                            | 11    | 0.59           | 0.23           | 0.10           | 2.54           |       |
|             |             | T6  | 1.20 | 0.11                | 0.71                             | 0.18               | 0.14  | 22.43                            | 60    | 0.59           | 0.24           | 0.12           | 2.42           |       |
|             | 过渡带         | T7  | 1.10 | 0.13                | 0.45                             | 0.21               | 0.17  | 20.26                            | 128   | 0.41           | 0.31           | 0.15           | 1.32           |       |
|             |             | T8  | 1.13 | 0.20                | 0.48                             | 0.18               | 0.13  | 16.64                            | 123   | 0.42           | 0.34           | 0.12           | 1.25           |       |
|             |             | T9  | 1.50 | 0.19                | 0.67                             | 0.30               | 0.13  | 18.09                            | 180   | 0.45           | 0.32           | 0.08           | 1.38           |       |
|             |             | T10 | 1.20 | 0.17                | 0.57                             | 0.21               | 0.12  | 26.05                            | 358   | 0.47           | 0.32           | 0.10           | 1.48           |       |
|             |             | T11 | 1.30 | 0.18                | 0.64                             | 0.24               | 0.17  | 21.71                            | 86    | 0.49           | 0.32           | 0.13           | 1.51           |       |
|             |             | T12 | 1.20 | 0.20                | 0.60                             | 0.16               | 0.13  | 16.64                            | 379   | 0.50           | 0.30           | 0.11           | 1.67           |       |
|             |             | T13 | 1.11 | 0.16                | 0.48                             | 0.24               | 0.12  | 16.64                            | 207   | 0.43           | 0.37           | 0.11           | 1.17           |       |
|             | 原生带         | T14 | 1.15 | 0.16                | 0.51                             | 0.21               | 0.12  | 8.683                            | 81    | 0.44           | 0.32           | 0.10           | 1.37           |       |
|             |             | T15 | 1.01 | 0.14                | 0.48                             | 0.14               | 0.11  | 23.15                            | 147   | 0.48           | 0.28           | 0.11           | 1.73           |       |
|             | 十红滩铀矿床 39 线 | 氧化带 | T16  | 1.11                | 0.04                             | 0.86               | 0.04  | 0.16                             | 13.02 | 12             | 0.78           | 0.08           | 0.14           | 10.09 |
|             |             |     | T17  | 1.38                | 0.12                             | 0.84               | 0.16  | 0.14                             | 24.6  | 243            | 0.61           | 0.20           | 0.10           | 3.06  |
| 过渡带         |             | T18 | 1.17 | 0.10                | 0.57                             | 0.32               | 0.15  | 11.58                            | 140   | 0.48           | 0.35           | 0.13           | 1.37           |       |
|             |             | T19 | 1.09 | 0.09                | 0.59                             | 0.29               | 0.11  | 15.19                            | 108   | 0.54           | 0.35           | 0.10           | 1.55           |       |
|             |             | T20 | 0.97 | 0.06                | 0.45                             | 0.29               | 0.07  | 99.13                            | 210   | 0.47           | 0.36           | 0.07           | 1.29           |       |
|             |             | T21 | 1.09 | 0.10                | 0.53                             | 0.29               | 0.10  | 34.01                            | 53    | 0.49           | 0.36           | 0.09           | 1.35           |       |
|             |             | T22 | 1.36 | 0.11                | 0.62                             | 0.43               | 0.17  | 13.02                            | 186   | 0.45           | 0.40           | 0.12           | 1.13           |       |
|             |             | T23 | 1.12 | 0.10                | 0.57                             | 0.29               | 0.13  | 8.683                            | 122   | 0.51           | 0.35           | 0.12           | 1.45           |       |
|             |             | T24 | 1.14 | 0.11                | 0.57                             | 0.29               | 0.15  | 15.92                            | 157   | 0.50           | 0.36           | 0.13           | 1.40           |       |
|             |             | T25 | 1.20 | 0.14                | 0.64                             | 0.27               | 0.13  | 27.5                             | 128   | 0.53           | 0.34           | 0.11           | 1.57           |       |
|             |             | T26 | 1.11 | 0.12                | 0.55                             | 0.24               | 0.14  | 13.75                            | 83    | 0.50           | 0.32           | 0.12           | 1.56           |       |
|             |             | T27 | 0.92 | 0.11                | 0.48                             | 0.19               | 0.11  | 14.47                            | 206   | 0.52           | 0.32           | 0.12           | 1.60           |       |
| 原生带         |             | T28 | 1.21 | 0.24                | 0.38                             | 0.32               | 0.20  | 20.26                            | 121   | 0.31           | 0.46           | 0.16           | 0.72           |       |
|             |             | T29 | 1.13 | 0.24                | 0.40                             | 0.29               | 0.14  | 10.13                            | 169   | 0.35           | 0.46           | 0.12           | 0.77           |       |

注:  $R_1 = \text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{TFe}$ ;  $R_2 = \text{Fe}(\text{FeCO}_3 + \text{FeS}_2)/\text{TFe}$ ;  $R_3 = \text{Fe硅酸盐}/\text{TFe}$ ;  $R_4 = \text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3 + \text{FeS}_2)$ 。2001 年 10 月取样,2002 年 3 月分析测试,核工业西北地质分析测试研究中心分析测试。

## 2 样品采集与分析

本研究的 43 个样品采集自新疆伊犁盆地 511 铀矿床 48 号剖面 and 吐哈盆地十红滩铀矿床 31、39 号剖面的层间氧化带中(表 1),采样点均匀分布在层间氧化带各亚带,以代表其不同的地球化学环境。

样品粉碎至小于 200 目,用容量法和原子吸收法,在日产 AA-6800 原子吸收分光光度计上,按照 DZ 0130-94 和 EJ/T751-93 两项标准,进行了铁物相 7 项指标的分析。分析结果见表 1。

## 3 结果和讨论

### 3.1 铁物相特征

铁物相指铁元素存在的化学相和矿物相。铁有  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}$  等三种价态,其在十红滩铀矿床中的物相有:硫化铁(黄铁矿、白铁矿)中的铁( $\text{Fe}^{2+}$ )、氧化铁(赤铁矿、褐铁矿等)中的铁( $\text{Fe}^{3+}$ 与  $\text{Fe}^{2+}$ )、碳酸铁(菱铁矿)中的铁( $\text{Fe}^{2+}$ )、铁硅酸盐和含铁硅酸盐矿物中的铁( $\text{Fe}^{2+}$ 与  $\text{Fe}^{3+}$ )以及陨铁铁( $\text{Fe}$ )。

由表 1 可见,层间氧化带各亚带中全铁的分布较为均一,除 511 铀矿床少数样品(全铁含量小于 0.5%)外,大部分样品的全铁含量

相的铁含量较低,其与全铁的比值平均为 0.122,表明在风化、剥蚀、搬运、沉积成岩的过程中,绝大部分的铁硅酸盐矿物已经被氧化。氧化带的硅酸盐相铁含量最低,过渡带和原生带无明显差异,表明氧化带中沉积成岩后存在持续的氧化环境和氧化作用。氧化带的这种持续的氧化环境和氧化作用是地层中铀活化迁移的重要地球化学动力机制。

氧化带中单质铁含量明显低于过渡带和原生带,在过渡带中则相对较高,个别样品出现 0.1%~0.2% 的特高值,可能是因为铁分布不均匀所致。

赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )相铁含量较高,且具有较好的分带性(图 1~3)。在氧化带赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )相铁含量相对较高,其与全铁的比值=0.45~0.77,平均值为 0.61;在过渡带,赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )相铁含量变低,其与全铁的比值=0.08~0.54,平均值为 0.41;在原生带,赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )相铁含量比过渡带略低,其与全铁的比值=0.31~0.48,平均值为 0.39;以上表明,氧化带中铁矿物进一步遭受氧化,而过渡带氧化程度较低,原生带中可能极少发生新的氧化反应,持久地处于还原的地球化学环境。

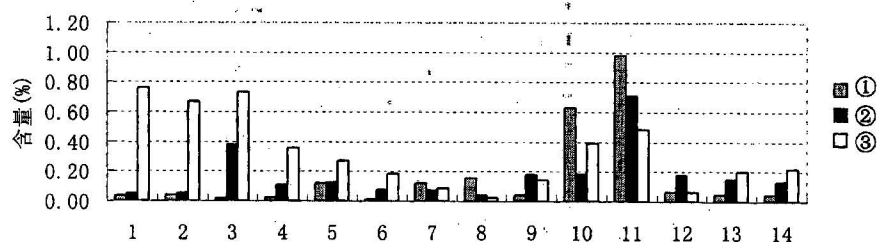


图 1 511 铀矿床 48 号剖面  $\text{FeFeCO}_3$ 、 $\text{FeFeS}_2$  与  $\text{FeFe}_2\text{O}_3$  分布直方图

Fig. 1 Histogram of  $\text{FeFeCO}_3$ ,  $\text{FeFeS}_2$  and  $\text{FeFe}_2\text{O}_3$  of No. 48 section in 511 uranium deposit

①— $\text{FeFeCO}_3$ ; ②— $\text{FeFeS}_2$ ; ③— $\text{FeFe}_2\text{O}_3$ ; 1~6: 氧化带; 7~12: 过渡带; 13~14: 原生带

①— $\text{FeFeCO}_3$ ; ②— $\text{FeFeS}_2$ ; ③— $\text{FeFe}_2\text{O}_3$ ; 1~6: oxidized zone; 7~12: transitional zone; 13~14: primary zone

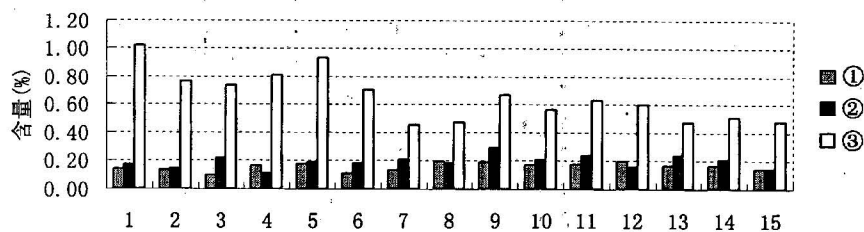


图 2 十红滩铀矿床 31 号剖面  $\text{FeFeCO}_3$ 、 $\text{FeFeS}_2$  与  $\text{FeFe}_2\text{O}_3$  分布直方图

Fig. 2 Histogram of  $\text{FeFeCO}_3$ ,  $\text{FeFeS}_2$  and  $\text{FeFe}_2\text{O}_3$  of No. 31 section in Shihongtan uranium deposit

①— $\text{FeFeCO}_3$ ; ②— $\text{FeFeS}_2$ ; ③— $\text{FeFe}_2\text{O}_3$ ; 1~6: 氧化带; 7~13: 过渡带; 14~15: 原生带

①— $\text{FeFeCO}_3$ ; ②— $\text{FeFeS}_2$ ; ③— $\text{FeFe}_2\text{O}_3$ ; 1~6: oxidized zone; 7~13: transitional zone; 14~15: primary zone

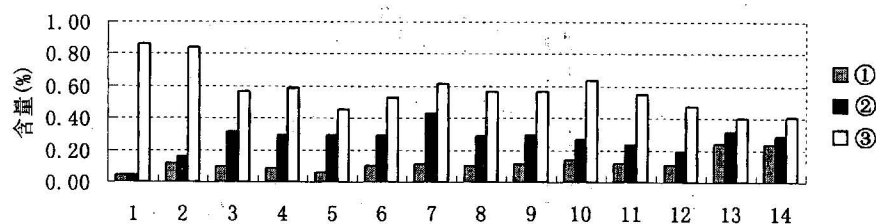


图 3 十红滩铀矿床 39 号剖面  $\text{FeFeCO}_3$ 、 $\text{FeFeS}_2$  与  $\text{FeFe}_2\text{O}_3$  分布直方图

Fig. 3 Histogram of  $\text{FeFeCO}_3$ ,  $\text{FeFeS}_2$  and  $\text{FeFe}_2\text{O}_3$  of No. 39 section in Shihongtan uranium deposit

①— $\text{FeFeCO}_3$ ; ②— $\text{FeFeS}_2$ ; ③— $\text{FeFe}_2\text{O}_3$ ; 1~2: 氧化带; 3~12: 过渡带; 13~14: 原生带

①— $\text{FeFeCO}_3$ ; ②— $\text{FeFeS}_2$ ; ③— $\text{FeFe}_2\text{O}_3$ ; 1~2: oxidized zone; 3~12: transitional zone; 13~14: primary zone

菱铁矿( $\text{FeCO}_3$ )和黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )是研究区地层中主要的低价态铁矿物。据镜下观察,它们多数为沉积成岩和后期水-岩反应过程中生成的自生矿物,主要分布在碎屑颗粒间的填隙物和岩屑、矿物的裂隙中,其生成的地球化学环境为弱酸性、还原环境。闵茂中等研究发现过渡带中黄铁矿含量相对高于其他亚带<sup>⑤</sup>,与本研究中的菱铁矿( $\text{FeCO}_3$ )相与黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )相铁含量在过渡带的相对增高是一致的。菱铁矿( $\text{FeCO}_3$ )相与黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )相铁的含量在各亚带中分布较有规律,氧化带最低,原生带较高,过渡带最高(图 1~3)。过渡带相对高的菱铁矿( $\text{FeCO}_3$ )相和黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )相铁含量及  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{全铁}$  比值,表明高价态的铁被还原成低价态铁矿物,该亚带处于中性-弱酸性的还原环境。

### 3.2 地球化学环境指标

原苏联学者所采用的价铁系数 [ $K_{\text{Fe}} = \text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/(\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)} + \text{Fe}_{\text{赤、褐铁矿}})$ ],较准确地反映了  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  的地球化学意义<sup>⑥</sup>。由于本研究区铁主要以碳酸盐相、硫化物相和氧化物相存在,因此本文采用  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ,  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ,  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}$  等三个参数,来系统对比和反映层间氧化带的地球化学环境变化。

由图 4~6 可以看出,  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$  和  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$  呈明显的彼此消涨关系,其消涨转折点与氧化带、过渡带和原生带的界线基本吻合。实际上氧化带、过渡带和原生带是渐变过渡的,并无截然的界线。

由图 7 可见,两个矿床三条剖面具有相似的

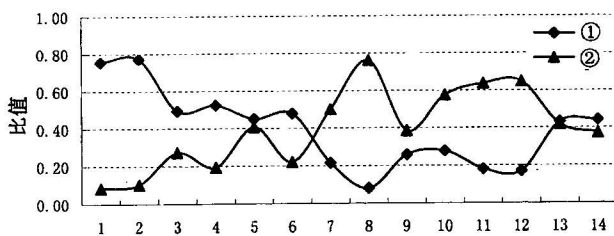


图 4 511 铀矿床 48 号剖面  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ 、 $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$  分布曲线

Fig. 4 Distribution curves of  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$  and  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$  of No. 48 section in 511 uranium deposit

①—  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ; ②—  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ; 1~6: 氧化带; 7~12: 过渡带; 13~14: 原生带  
①—  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ; ②—  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ; 1~6: oxidized zone; 7~12: transitional zone; 13~14: primary zone

$\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}$  分布曲线特征,而且曲线形态变化趋势与层间氧化带各亚带相对应。  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}$  以氧化带最高,过渡带最低。由氧化带到过渡带,该比值快速降低,而由过渡带到原生带该比值又呈现弱的上升趋势。

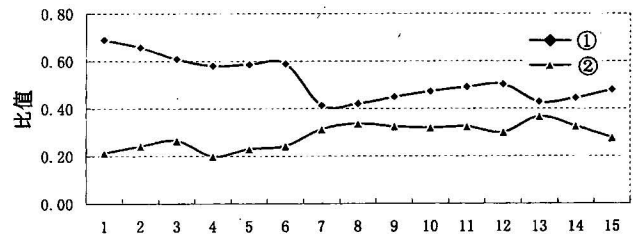


图 5 十红滩铀矿床 31 号剖面  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ 、 $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$  分布曲线

Fig. 5 Distribution curves of  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$  and  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$  of No. 31 section in Shihongtan uranium deposit

①—  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ; ②—  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ; 1~6: 氧化带; 7~13: 过渡带; 14: 原生带

①—  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ; ②—  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ; 1~6: oxidized zone; 7~13: transitional zone; 14: primary zone

图 7 显示,三条剖面的曲线各有两个趋势变化的拐点,对应于亚带的分界线。但不同矿床,甚至不同剖面,由于其所处地球化学环境的差异,拐点也是不同的。511 矿床 48 号剖面,到过渡带的拐点  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)} = 0.43$ ,由过渡带到原生带的拐点  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)} = 0.26$ 。十红滩矿床 31 号剖

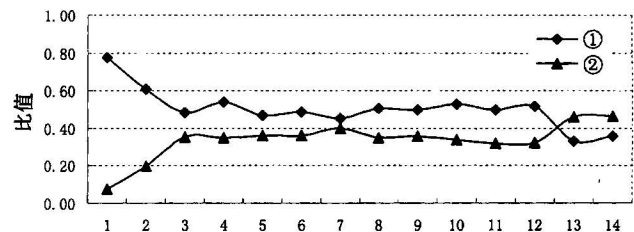


图 6 十红滩铀矿床 39 号剖面  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ 、 $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$  分布曲线

Fig. 6 Distribution curves of  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$  and  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$  of No. 39 section in Shihongtan uranium deposit

①—  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ; ②—  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ; 1~2: 氧化带; 3~12: 过渡带; 13~15: 原生带

①—  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{TFe}$ ; ②—  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{TFe}$ ; 1~2: oxidized zone; 3~12: transitional zone; 13~15: primary zone

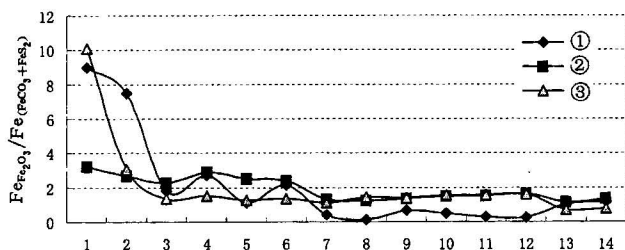


图 7  $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)$  分布曲线图

Fig. 7 Distribution curves of  $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)$  of

3 sections in 511 and Shihongtan uranium deposits

①—511 铀矿床 48 线; ②—十红滩铀矿床 31 线;

③—十红滩铀矿床 39 线

①— No. 48 section in 511 uranium deposit; ②— No. 31 section in Shihongtan uranium deposit; ③— No. 39 section in Shihongtan uranium deposit

面,由氧化带到过渡带的拐点  $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)=1.32$ ,由过渡带到原生带的拐点  $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)=1.17$ 。十红滩矿床 39 号剖面,由氧化带到过渡带的拐点  $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)=1.37$ ,由过渡带到原生带的拐点  $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)=1.60$ 。

以上特征表明,氧化带处于弱碱性的氧化环境;过渡带中有大量的  $\text{FeCO}_3$  和  $\text{FeS}_2$  生成,为中性—弱酸性的还原环境;原生带虽然为还原环境,但较少有  $\text{FeCO}_3$  和  $\text{FeS}_2$  生成,应是一种弱碱性的还原环境。这与逢玮(1997)和王正邦<sup>⑤</sup>所描述的水文地球化学分带和层间氧化带各亚带地球化学环境是一致的。

### 3.3 讨论

层间氧化带砂岩型铀矿床在空间上严格受层间氧化带控制,矿体主要产于氧化—还原过渡带,时间上应与含矿主岩形成后所经历的构造活动、热事件、水-岩反应等有关。而铀的地球化学特性决定了其活化迁移与沉淀成矿,应具备不同的地球化学环境条件。即在氧化带中弱碱性的氧化条件下,地层中的铀被活化进入溶液相,同时也使得来自蚀源区的含氧含铀流体保持较高的铀含量(Peng et al., 2000)。而在过渡带中,由于氧化带中大量硫酸盐和有机物的氧化(Shvartsev, 2000),耗尽其中溶解活性氧,导致了流体 pH 值逐渐降低并进入过渡带,与沿层间上升的深源还原流体相遇,在过渡带形成了中性—弱酸性的较强的还原地球化学环境。在还原环境下,高价态活性铀被还原成沥青铀矿沉淀下来,而酸性环境使得在弱碱性环境中溶解的铀酰络合物失去络合平衡,进而被粘土矿物、植物腔胞(Min, et al., 2001)、碳屑、及岩屑与矿物的裂隙所吸附,形成铀富

集。同时,大量高价态铁被还原生成黄铁矿和菱铁矿。由于过渡带中发生的成矿作用和铁的还原作用等,使得流体性质再度改变为中性—弱碱性而进入到原生带,在原生带形成中性—弱碱性的还原环境。

## 4 结论

铁物相特征是指示层间氧化带各亚带地球化学环境变化的敏感标志,  $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{TFe}$ ,  $\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)/\text{全铁}$  和  $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)$  是反应地球化学环境变化的重要指标。以上特征的变化与层间氧化带各亚带的地球化学环境变化具有很好的一致性。层间氧化带中赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、菱铁矿( $\text{FeCO}_3$ )、黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )等地球化学环境敏感矿物随着亚带的不同显示了明显的变化规律:赤铁矿含量在氧化带最高,向过渡带和原生带依次降低;菱铁矿( $\text{FeCO}_3$ ),黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )等低价态铁矿物在过渡带的大量富集,指示了该亚带所处的中性—弱酸性还原环境是铀成矿的有利地球化学环境,其含量在氧化带中最低,在原生带中次之。 $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{TFe}$  和  $\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)/\text{TFe}$  曲线沿层间氧化带各亚带呈明显的彼此消涨关系,其消涨转折点与氧化带、过渡带和原生带的界线基本吻合。 $\text{FeFe}_2\text{O}_3/\text{Fe}(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)$  曲线存在两个较明显的拐点,分别对应于氧化带—过渡带和过渡带—原生带的转折点。在铀矿勘查中,应用以上规律,可以简捷直观地进行层间氧化带亚带的划分。

此外,铀矿床中铁物相研究资料对矿床的地浸开采(李德平等,2002)也有重要参考价值。

在本研究的野外调研和取样工作中,曾得到核工业 216 大队李细根工程师、张峰岩同志,核工业西北 203 研究所周巧生高工、李占游高工、李保侠高工、赵连旭高工、赵希刚高工等的指导和帮助,在此表示衷心的感谢!

## 注 释

- ① 闵茂中,王正其. 1998. 新疆伊犁盆地扎吉斯坦地段铀矿石物质组分研究. 核科技报告.
- ② 核工业西北 203 研究所. 2001. 新疆托克逊十红滩地段铀矿普查.
- ③ 闵茂中,罗兴章,彭新建. 2001. 砂岩型铀矿床层间氧化-还原带的铁矿物判别标志——以十红滩铀矿床为例. 核科技报告.
- ④ 魏观辉. 1993. 层间氧化带型铀矿床成矿作用及若干地球化学指标. 西北铀金地质情报. (4): 10~15.
- ⑤ 王正邦,等. 1998. 北疆地区大型可地浸砂岩铀矿计算机半定量综合评价模式. 核工业北京地质研究院.

## 参 考 文 献

- 程纪星,侯惠群,姜义生. 2000. 松辽盆地可地浸砂岩型铀矿床成矿条件的探讨. 地质论评, 46(增刊): 101~105.

- 冯乔,柳益群,张小莉. 1997. 吐哈盆地西南部热演化史. 西北地质, 18(3):46~52.
- 古抗衡. 1997. 新疆伊犁盆地铀成矿特征及其形成地质条件. 华东地质学院学报, 20(1):18~23.
- 李德平,顾连兴,王保群. 2002. 层间氧化带型砂岩铀矿床地浸过程的热力学研究——以伊犁盆地512铀矿床为例. 地质论评, 48(6): 642~650.
- 李胜祥,等. 1996. 伊犁盆地含煤系地层沉积相特征及其与层间氧化带砂岩型铀矿成矿关系. 铀矿地质, 12(3):129~134.
- 潘蔚. 2000. 伊犁盆地铀成矿时空分布特征与层间氧化带砂岩型铀矿找矿思路分析. 铀矿地质, 16(1):19~25.
- 逢玮. 1997. 吐哈盆地水文地球化学分带与铀矿化关系浅析. 新疆地质, 15(3):261~268.
- 秦明宽,赵瑞全,王正邦. 1999. 可地浸砂岩型铀矿盲矿识别模式. 铀矿地质, 15(3):129~136.
- 权志高,李占双. 2002. 新疆十红滩砂岩型铀矿床基本特征及成因分析. 地质论评, 48(4):430~436.
- 王保群. 2000. 吐哈盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿条件分析及远景预测. 铀矿地质, 16(6):321~326.

### References

- Cheng Jixing, Hou Huiqun, Jiang Yisheng. 2000. A discussion on metallogenic conditions for in-situ leachable sandstone-type uranium deposits in the Songliao basin. Geological Review, 46 (supp.): 101~105.
- Feng Qiao, Liu Yiqun, Zhang Xiaoli. 1997. Geothermal evolution history in the southwest Turpan-Hami basin. Northwestern Geology, 18(3): 46~52.
- Gu Kangheng. 1997. Discussion on uranium metallogenic feature and its forming geological conditions in Yili, Xinjiang. Uranium Geology, 20(1):18~23.
- Li Deping, Gulianxing, Wang Baoqun. 2002. A thermodynamic study on the in-situ leaching process in interlayered oxidation zone type sandstone uranium deposits——A case study of the No. 512 uranium deposit. Geological Review, 48(6): 462~650.
- Li Shengxiang, Chen Daisheng, Wang Ruiying, Zhang Kefang. 1996.

- Characteristics of sedimentary facies of coal-bearing series in Yili basin and their relation to sandstone uranium deposit of interlayered oxidation zone type. Uranium Geology, 12(3): 129~134.
- Min M-Z, Luo X-Z, Mao S-L, Wang Z-Q, Wang R-C, Qin L-F, Tan X-L. 2001. An excellent fossil wood cell texture with primary uranium minerals at a sandstone-hosted roll-type uranium deposit, NW China. Ore Geology Reviews, 17:233~239.
- Pan Wei. 2000. Discussion on space-time distribution of uranium mineralization in Yili basin and prospecting strategy for interlayer oxidation zone sandstone-type uranium deposit. Uranium Geology, 16(1): 19~25.
- Pang Wei. 1997. Hydrogeochemical zonations and uranium mineralization in Turpan-Hami basin. Xinjiang Geology, 15(3): 261~268.
- Peng Xinjian, Min Maozhong, Luo Xingzhang, Qiao Haiming, Jiang Shaoyong, Zhang Guanghui. 2002. Element, Isotope Geochemistry of Modern Ore-forming Fluids in Shihongtan Uranium Deposit, NW China. Sandstone-type Uranium, Deposits in China: Geology and Exploration Techniques. Beijing: Atomic Energy Press.
- Qin Mingkuang, Zhao Ruiquan, Wang Zhengbang. 1999. Recongnition model for in-situ leachable sandstone-type uranium deposit. Uranium Geology, 15(3): 129~136.
- Shvartsev S L. 2000. The Chemical composition and Strontium Isotopes of Brines from the Tunguska Basin: Implications for Their Formation. Geochemistry International, 38(11): 1070~1083.
- WANG Baoqun. 2000. Analysis on metallogenic conditions of prospect prognosis for interlayer oxidation zone sandstone-type uranium deposit in Turpan-Hami basin. Uranium Geology, 16(6): 321~326.
- Zou Ligui, Zhang Jiyun, Yan Jun, GUAN Shaobin. 2000. Tests on application of soil magnetic and integrated gamma ray TLD and TC methods to the exploration of sandstone-type uranium deposits. Acta Geologica Sinica (English edition), 74(2): 418~424.

## Characteristics and Geochemical Significance of the Ferrum Phases in the Shihongtan Interlayered-Oxidation Zone Sandstone Type Uranium Deposit

PENG Xinjian<sup>1, 2)</sup>, MIN Maozhong<sup>1)</sup>, WANG Jinping<sup>1, 3)</sup>, JIA Heng<sup>3)</sup>, WEI Guanhui<sup>3)</sup>, WANG Jianfeng<sup>3)</sup>

1) Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093; 2) Bureau of Geology, CNNC, Beijing, 100013

3) No. 203 Institute of Uranium Geology, NW China, Xianyang, 712000

### Abstract

The interlayered-oxidation zone sandstone type uranium deposits correspond spatially to the subzones of the interlayered-oxidation zone. The phases of ferrum are sensitive indicators of the geochemical environment changes. The  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Total Fe}$ ,  $\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}/\text{Total Fe}$ ,  $\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}/\text{Fe}_{(\text{FeCO}_3+\text{FeS}_2)}\text{Fe}$  ratios are important parameters of the changes of the geochemical environment. Using the phases of ferrum and the parameters above to divide the subzones of interstratified-oxidation zone has both theoretical and practical significance in prospecting for uranium deposits of this type. The enrichment of minerals such as siderite and pyrite, which are sensitive to geochemical environment, in the transitional zone indicates that the geochemical environment is neutral—acidic and reductive and is propitious to the precipitation of uranium.

**Key words:** interlayered-oxidation zone; sandstone type uranium deposit; ferrum phases; geochemistry