

# 黔西威宁岔河陆相二叠系—三叠系界线粘土岩研究 ——基于 X 射线衍射、扫描电镜分析

张素新, 彭元桥, 喻建新, 杨逢清, 殷鸿福, 史玉芳

(中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉, 430074)

**摘要:** 利用 X 射线衍射、扫描电镜等分析方法, 对黔西威宁岔河陆相剖面二叠系—三叠系界线附近的粘土岩进行了研究。在界线粘土岩中, 粘土矿物组合为伊—蒙混层矿物+蒙脱石+绿泥石; 碎屑物质中有六方双锥石英和锆石, 无球粒; 多种化学成分在界线粘土岩中出现了异常。据此得出岔河剖面的二叠系—三叠系事件地层界线确定在第 66f 层比较合适; 第 66f 和 68a 这两层粘土岩为此剖面的界线粘土岩; 自第 66f 层底部至第 68a 层顶部这一段地层为二叠系—三叠系的界线层(组); 界线粘土岩的成因可能是由于火山喷发、火山灰降落伴随正常沉积物沉积形成的。

**关键词:** 黔西; 岔河剖面; 陆相; 二叠系—三叠系界线; 粘土岩  
**中图分类号:** P588.22 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7849(2004)01-0021-06

在中国华南海相二叠系—三叠系界线附近, 存在多层粘土岩。这些粘土岩引起了地质学家们的关注。自 80 年代初期开始, 许多学者对粘土岩中的粘土矿物类型、碎屑物质种类及粘土岩层成因等进行了精细的研究<sup>[1,2]</sup>, 为全球二叠系—三叠系界线层型剖面 and 点(GSSP)的确定提供了有力的依据。

黔西地区是一个海相、海陆交互相和陆相二叠系—三叠系剖面发育良好的地区, 并含有较丰富的动物、植物化石, 是研究和对比海相、陆相二叠系—三叠系界线的理想地区。已有不少学者在该地区做过研究, 开展了陆相二叠系—三叠系界线综合地层学研究, 并发现了具有事件地层标志的陆相二叠系—三叠系界线粘土岩<sup>[3~6]</sup>, 其可与华南海相二叠系—三叠系界线粘土岩进行对比<sup>[3~7]</sup>。该界线粘土岩的发现为进一步在该地区开展陆相界线地层的研究打下了良好的基础, 同时, 为海相、陆相界线地层的对比和陆相二叠系—三叠系界线的确定提供了有利的条件。在前人研究的基础上, 笔者对黔西威宁岔河陆相二叠系—三叠系界线附近的粘土岩进行了深入的研究, 为陆相二叠系—三叠系事件地层界线的确定和陆相二叠系—三叠系辅助层型剖面 and 点的确定提供了可靠的依据。在黔西地区不论是海相地层还是陆相地层, 在二叠系—三叠系界线附近至少有两层或多层粘土岩<sup>[7,8]</sup>, 笔者现以黔西威宁岔河陆相剖

面为例进行分析。岔河剖面的地理位置及交通情况见图 1, 剖面的地层情况及采样位置见图 2。在岔河剖面上共选了 8 块粘土岩样品和 1 块泥质砂岩样品, 样品采样层位及编号见表 1, 其中 GWC-74 为泥质砂岩样品。首先对这 9 块样品进行了处理, 使粘土矿物与碎屑物质分离, 在双目镜下挑选出有特殊意义的矿物, 然后对它们分别进行了扫描电镜、X 射线衍射和 X 荧光光谱分析。

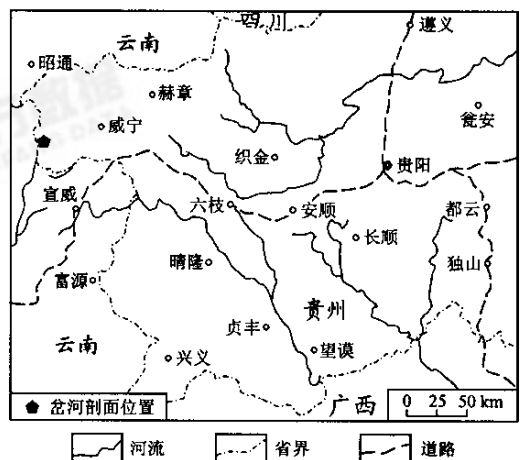


图 1 研究区地理位置及交通状况图

Fig. 1 Geographic position and transportation of the study area

\* 收稿日期: 2003-05-16 编辑: 刘江霞

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40172012, 40232025); 中国地质调查局宜昌地层中心项目(200113900072)

作者简介: 张素新(1959—), 女, 高级工程师, 主要从事事件地层学、粘土岩岩石学、矿物学及各类地质样品的扫描电镜分析测试工作。

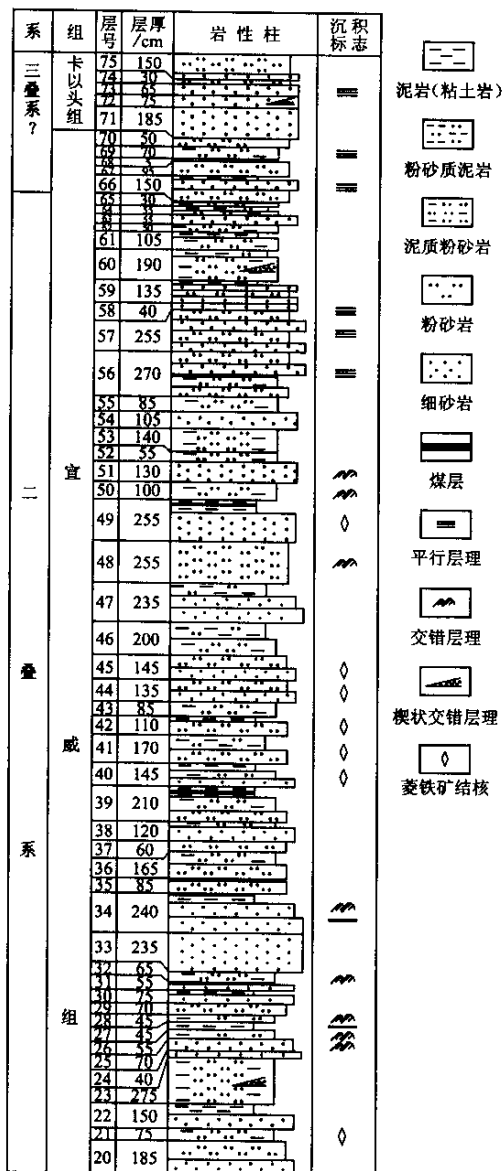


图2 黔西威宁岔河剖面综合柱状图

Fig. 2 Synthetic column of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province

土岩样品中,其粘土矿物由高岭石和绿泥石组成(图3-A),高岭石的质量分数在55%~80%间,绿泥石的质量分数在20%~45%间;在第63和74两层粘土岩样品中只有绿泥石矿物(图3-B),其质量分数为100%;而在第66f,68a,68c三层粘土岩样品中,其粘土矿物以伊—蒙混层矿物为主,另有少量蒙脱石和绿泥石(图3-C,D),伊—蒙混层矿物的质量分数在70%~85%间,蒙脱石的质量分数在10%~25%间,绿泥石的质量分数只有5%,根据峰形分解,求出独立的伊—蒙混层矿物衍射峰的面积和 $d$ 值,得出伊—蒙混层矿物的混层比为75%,即伊利石晶层的质量分数占75%,蒙脱石晶层的质量分数占25%。各层中粘土矿物的X射线衍射分析结果见表1。

表1 黔西威宁岔河剖面各层粘土矿物的X射线衍射分析结果

Table 1 Results of X-ray diffraction of clay mineral in different clayrocks of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province  $w_B/\%$ 

层位	样品号	粘土矿物种类及质量分数
74	GWC-74	绿泥石(100%)
68c	GWC-68c	伊—蒙混层矿物(85%)+蒙脱石(10%) +绿泥石(5%)
68a	GWC-68a	伊—蒙混层矿物(70%)+蒙脱石(25%) +绿泥石(5%)
66f	GWC-66f	伊—蒙混层矿物(70%)+蒙脱石(25%) +绿泥石(5%)
63	GWC-63	绿泥石(100%)
30	GWC-30	高岭石(80%)+绿泥石(20%)
28	GWC-28	高岭石(60%)+绿泥石(40%)
22	GWC-22	高岭石(55%)+绿泥石(45%)
21	GWC-21	高岭石(55%)+绿泥石(45%)

## 1.2 形态分析

利用扫描电镜对提纯出的粘土矿物进行了形态分析。实验采用JSM-35CF型扫描电镜,测试条件为:加速电压25 kV,工作电流 $2 \times 10^{-11}$  A。通过扫描电镜观察得知,第21,22,28,30层中的粘土矿物主要为不规则片状的高岭石和树叶状的绿泥石(图4-A);第63,74层中的粘土矿物主要为树叶状的绿泥石,绿泥石结晶程度较高,图像边界轮廓清晰,叶片明显(图4-B);第66f,68a,68c层中的粘土矿物主要为不规则片状的伊—蒙混层矿物和少量蒙脱石。图4-C为GWC-68a中的伊—蒙混层矿物,从图4-C中可以看出,伊—蒙混层矿物结晶较差,图像边界有些模糊不清,这也从图3-C,D的X射线衍射图中得到了证实,伊—蒙混层矿物的衍射峰宽广且不对称。

从以上分析可知,X射线衍射分析结果与扫描电镜分析结果是一致的。

## 1 粘土矿物分析

### 1.1 粘土矿物含量

对由这9块样品提纯出来的粘土矿物分别进行了X射线衍射分析。实验采用D/max-3B型粉晶衍射仪进行测试,测试条件为:管压30 kV,管流30 mA,Cu靶,N滤波,扫描速度 $5^\circ/\text{min}$ 。根据图谱中衍射峰的 $d$ 值和强度分别进行了物相鉴定和定量分析。在所分析的各层中均有由于未提纯干净而遗留下来的粒状矿物石英。在第21,22,28,30层的粘

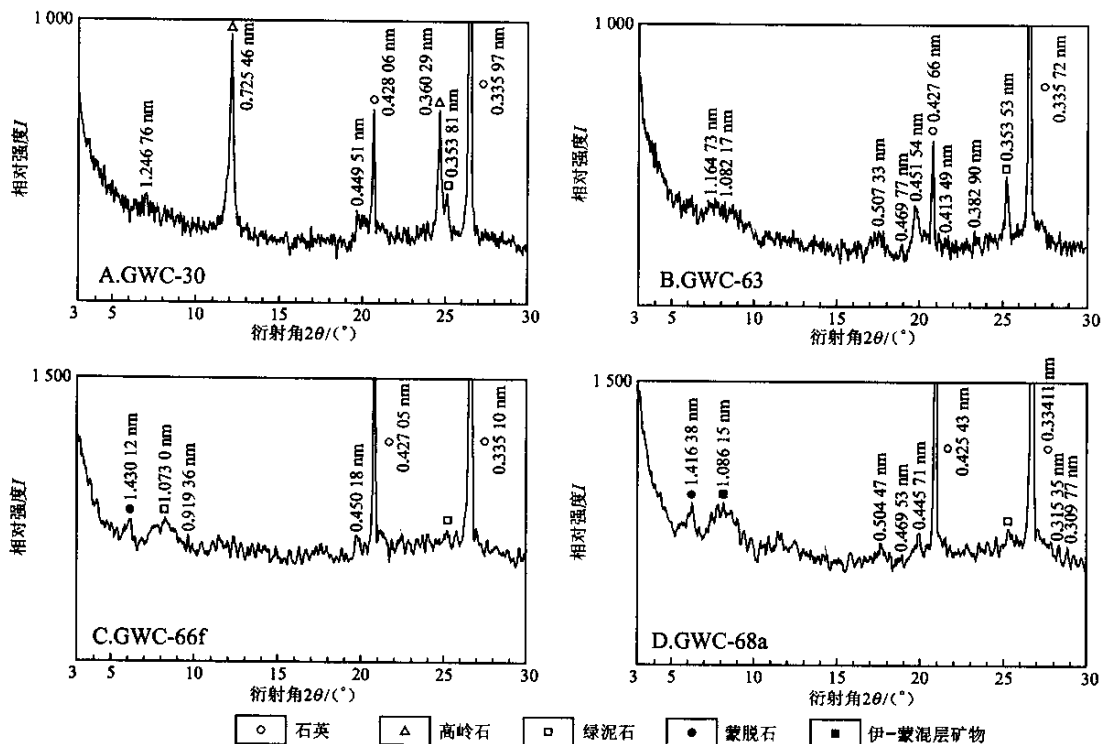


图 3 黔西威宁盆河剖面中粘土矿物的 X 射线衍射图

Fig. 3 X-ray diffraction graph of clay minerals of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province

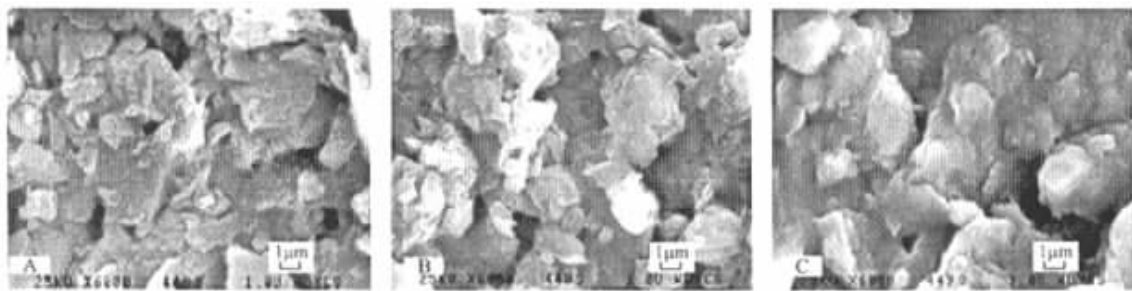


图 4 黔西威宁盆河剖面中粘土矿物的扫描电镜图

Fig. 4 Scanning electronic microscope graph of clay minerals of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province

A. GWC-30 中的高岭石和绿泥石; B. GWC-63 中的绿泥石; C. GWC-68a 中的伊—蒙混层矿物

## 2 碎屑物质分析

提纯粘土矿物后的剩余碎屑物质,经淘洗处理后,在双目镜下进行观察,挑选出一些结晶形态较好并有特殊意义的矿物颗粒,如六方双锥石英、锆石等;然后在扫描电镜下进行仔细的观察和拍照。碎屑物质的分析结果见表 2。在双目镜下通过对碎屑物质的形态、颜色、光泽等观察可知,第 21, 22, 28, 30 层中的碎屑物质以暗红色铁质和土色泥质的不规则状颗粒为主,另有少量钙质和硅质的不规则状颗粒,无晶形完好的六方双锥石英、锆石、球粒等;第 63 层

中的碎屑物质以乳白色钙质和泥质不规则状颗粒为主,另有极少量暗红色铁质和无色或白色硅质不规则状颗粒,无晶形完好的六方双锥石英、锆石、球粒等;第 66f 层中的碎屑物质以黑色铁质和土色泥质不规则状颗粒为主,另有一些无色或白色硅质和钙质不规则状颗粒;第 68a, 68c 层中的碎屑物质以乳白色、白色钙质和无色硅质不规则状颗粒为主,另有极少量暗红色铁质和土色泥质不规则状颗粒。从第 66f, 68a 层中挑选出了多粒晶形完好的六方双锥石英和几粒四方柱状锆石,经扫描电镜分析得知,第 66f, 68a 层样品中的六方双锥石英,晶形完好,但颗

表2 黔西威宁岔河剖面各层粘土岩中的碎屑物质  
 Table 2 Compositions of detrital substance in different clayrocks of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province

层位	样品号	碎屑物质
74	GWC-74	暗红色不规则状铁质、土色泥质+少量硅质、钙质
68c	GWC-68c	乳白色不规则状钙质、硅质+少量铁质、泥质
68a	GWC-68a	乳白色不规则状钙质、硅质+少量铁质、泥质+六方双锥石英、锆石
66f	GWC-66f	黑色不规则状铁质、土色泥质+少量硅质、钙质+六方双锥石英、锆石
63	GWC-63	乳白色不规则状钙质、土色泥质+少量硅质、铁质
30	GWC-30	暗红色不规则状铁质、土色泥质+少量硅质、钙质
28	GWC-28	暗红色不规则状铁质、土色泥质+少量硅质、钙质
22	GWC-22	暗红色不规则状铁质、土色泥质+少量硅质、钙质
21	GWC-21	暗红色不规则状铁质、土色泥质+少量硅质、钙质

粒表面粗糙不平(图5-A,B),并有轻微的圆化现象,这可能是由于这两层粘土岩为河流相,六方双锥石英形成后可能经过短距离的搬运而造成的\*,第66f层中的六方双锥石英显示出柱面特征,锆石为四方柱与四方双锥的聚形(图6-A,B),第66f,68a,68c层样品中碎屑物质均无球粒;第74层中的碎屑物质

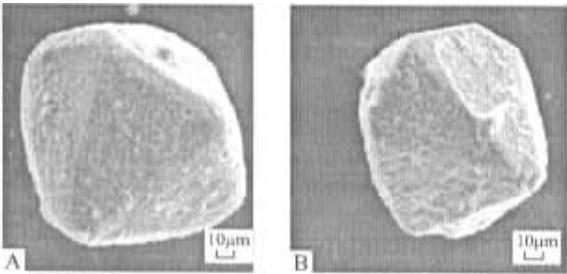


图5 黔西威宁岔河剖面中六方双锥石英的扫描电镜图

Fig. 5 Scanning electronic microscope graph of hexagonal dipyrmaid quartz of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province  
 A. GWC-66f 中的六方双锥石英; B. GWC-68a 中的六方双锥石英

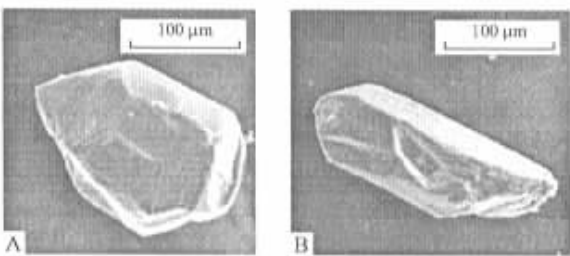


图6 黔西威宁岔河剖面中锆石的扫描电镜图

Fig. 6 Scanning electronic microscope graph of zircon of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province  
 A. GWC-66f 中的锆石; B. GWC-68a 中的锆石

以土色泥质和暗红色铁质不规则状颗粒为主,另有极少量白色钙质和无色硅质不规则状颗粒,无晶形完好的六方双锥石英、锆石、球粒等。

### 3 粘土岩分析

#### 3.1 成分分析

对9个粘土岩样品进行了X荧光光谱分析,其结果见表3。从表3中可以看出,  $w(\text{SiO}_2)$  在 GWC-66f 中最高,为 61.41%,而  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  在 GWC-66f 中最低,为 13.58%;  $w(\text{K}_2\text{O})$  在 GWC-68a 和 GWC-68c 中较高,分别为 6.32% 和 6.68%,而  $w(\text{TiO}_2)$  在 GWC-68a 和 GWC-68c 较低,分别为 0.69% 和 0.65%。总之,在第 66f 层,  $w(\text{SiO}_2)$  和  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  出现了异常(图7);而在第 68a 和 68c 层,  $w(\text{K}_2\text{O})$  和  $w(\text{TiO}_2)$  出现了异常(图8)。

表3 黔西威宁岔河剖面粘土岩中的氧化物含量

Table 3 Contents of oxides in different clayrocks of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province

样品号	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
GWC-21	1.37	0.260	0.75	0.40	25.69	1.57	45.94	7.74	0.05	0.01
GWC-22	0.84	0.120	0.88	0.45	25.54	6.36	43.58	5.23	0.11	0.02
GWC-28	0.82	0.160	0.47	0.11	19.54	7.50	50.48	4.27	0.04	0.01
GWC-30	1.27	0.130	0.53	0.26	17.97	4.94	59.13	1.89	0.15	0.31
GWC-63	4.50	0.050	0.98	0.45	24.02	3.78	46.32	4.74	0.09	0.02
GWC-66f	2.93	0.067	0.69	0.37	13.58	7.56	61.41	2.26	0.05	0.03
GWC-68a	6.32	0.076	0.97	0.35	22.66	6.30	53.04	0.65	0.11	0.35
GWC-68c	6.68	0.078	0.92	0.34	25.21	5.19	54.54	0.69	0.07	0.11
GWC-74	3.69	0.066	1.75	0.38	18.52	18.23	40.27	4.78	0.26	0.06

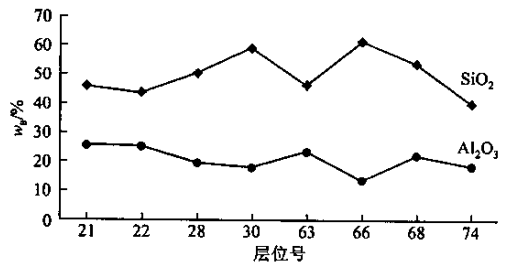


图7 黔西威宁岔河剖面中  $w(\text{SiO}_2)$  和  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  变化图

Fig. 7 Content change trends of  $w(\text{SiO}_2)$  and  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province

\* 赵全民. 黔西滇东地区陆相二叠系—三叠系之交沉积环境与层序地层学研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2003.

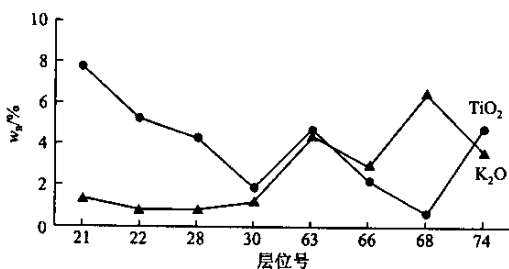


图 8 黔西威宁岔河剖面中  $w(\text{TiO}_2)$  和  $w(\text{K}_2\text{O})$  变化图

Fig. 8 Content change trends of  $w(\text{TiO}_2)$  and  $w(\text{K}_2\text{O})$  of Chahe Section, Weining, Western Guizhou Province

### 3.2 成因分析

华南海相二叠系—三叠系界线粘土岩的成因长期以来都是地质学界探讨的焦点问题之一,火山成因、外星体撞击成因及两者共同作用的双重成因模式均有一定的证据。而界线粘土岩中高温石英、锆石、磷灰石、火山灰残渣的存在,以及一些火山成因球粒的发现<sup>[7~9]</sup>,证明了界线粘土岩是火山成因的可能性较大。

第 21, 22, 28, 30 层粘土岩中的粘土矿物组合为高岭石和绿泥石,第 63, 74 层粘土岩中的粘土矿物只有绿泥石,而第 66f, 68a, 68c 层粘土岩中的粘土矿物组合为伊—蒙混层矿物、蒙脱石和绿泥石。粘土矿物组合的不同,说明它们的物质来源及成因也不同。第 21, 22, 28, 30 层粘土岩是由 55%~80% 的高岭石和 20%~45% 的绿泥石矿物组成,而高岭石是在酸性介质中形成的,指示它们可能是在偏酸性的环境下正常沉积形成的;第 63, 74 层粘土岩只有绿泥石一种矿物,而绿泥石是在碱性介质中形成的,指示它们可能是在碱性环境下形成的。

第 66f, 68a, 68c 层粘土岩的粘土矿物组合是由 70%~85% 的伊—蒙混层矿物、10%~25% 的蒙脱石和 5% 的绿泥石组成,且某些化学成分在此处也发生了较大的变化,与上、下各层明显不同,这表明这两层粘土岩的物质来源及成因与上、下各层不同。在第 66f, 68a 层粘土岩中有六方双锥石英和锆石存在,六方双锥晶形的  $\beta$ -石英是在 573~867 °C 的高温条件下形成的。在缓慢冷却条件下,高温的  $\beta$ -石英可向低温的  $\alpha$ -石英转变;而在快速冷却时仍保留六方双锥的晶形,因此,在快速冷却的火山岩中常可见具六方双锥晶形的  $\beta$ -石英。第 66f, 68a 层中六方双锥石英的出现,证明这两层粘土岩很可能是在火山喷发、火山灰降落伴随正常沉积物沉积的条件下形成的。锆石一般形成于岩浆岩中,因此,锆石在这

两层粘土岩中的出现再一次证明它们具火山成因。利用常量元素  $w(\text{TiO}_2)/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  值可指示粘土物质的来源<sup>[10]</sup>,例如,陆源粘土岩(页岩)中的  $w(\text{TiO}_2)/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  为 0.035~0.050,酸性火山灰中的  $w(\text{TiO}_2)/w(\text{Al}_2\text{O}_3) < 0.020$ 。GWC-68a 中的  $w(\text{TiO}_2)/w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0.028$ ,正好位于陆源粘土岩和酸性火山灰之间,这说明第 68a 层粘土岩的物质来源是陆源物质与酸性火山灰的混合,这两层粘土岩中  $w(\text{SiO}_2)$  和  $w(\text{K}_2\text{O})$  的增加也证明火山喷发为酸性火山喷发。对碎屑物质经过两次仔细的观察和寻找,在第 66f, 68a 层中均未发现非晶质的球粒,这可能是由于火山灰降落到陆地上时,降温速度较慢而全部结晶形成了六方双锥石英的缘故。

经过以上分析,笔者认为第 66f 和 68a 这两层粘土岩为陆相二叠系—三叠系界线粘土岩,其成因为酸性火山灰降落伴随正常沉积物沉积形成的。

## 4 结 论

(1) 黔西威宁岔河剖面的二叠系—三叠系事件地层界线确定在第 66 层是比较合适的。因为在此层中,粘土矿物组合与以下各层明显不同,它是由伊—蒙混层矿物、蒙脱石和绿泥石组成,而第 63 层中只有绿泥石,以下各层是由高岭石和绿泥石组成,并在该层中出现了与火山事件有关的六方双锥石英和锆石,多种氧化物的含量在此层也突然发生了变化,说明此层与其它层位的物质来源及成因不同。

(2) 第 66f, 68a 这两层粘土岩为此剖面的界线粘土岩。因为第 68a, 66f 层的粘土矿物组合相同,且在这两层中出现了六方双锥石英和锆石,多种氧化物的含量也突然发生了变化,说明这两层粘土岩的成因大致相同。

(3) 第 66f, 68a 这两层界线粘土岩可能是由于酸性火山喷发、火山灰降落伴随正常沉积物沉积形成的。因为在这两层粘土岩中有六方双锥石英和锆石的出现,这一点也可以由  $w(\text{TiO}_2)/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  值得到证明。这两层粘土岩中无球粒,地内事件和地外事件均可形成球粒,只是它们的成分不同而已。因此,无球粒的粘土岩层肯定不是地外事件形成的,而是由地内事件——火山事件形成的。

(4) 自第 66f 层底部至第 68a 层顶部这一段地层为二叠系—三叠系的界线层(组)。因为这两层粘土岩中的粘土矿物组合和碎屑物质成分均与上、下各层不同,且多种氧化物的含量在这两层中都突然发生了变化,说明这两层粘土层与上、下各层的形成环境和物质来源是不同的。在此剖面上,从粘土岩的

角度确定的界线层(组)的位置与植物化石和孢粉的分析结果<sup>②</sup>及分子化石的分析结果是一致的。

#### 参考文献:

- [1] 杨遵仪,吴顺宝,殷鸿福,等.华南二叠—三叠纪过渡期地质事件[M].北京:地质出版社,1991.19—63.
- [2] 徐道一,张勤文.古生物大量绝灭——地质历史发展阶段划分的基本标志[J].地质学报,1987,63(3):195—204.
- [3] Yin Hongfu, Zhang Kexin, Tong Jinnan, et al. The Global Stratotype Section and Point(GSSP) of the Permian—Triassic Boundary[J]. *Episodary*, 2001, 24(2): 102—114.
- [4] Cowie J W, Ziegler W, Boucot A J, et al. Guidelines and statutes of the International Commission on Stratigraphy[J]. *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg*, 1986, 83:1—14.

- [5] 王尚彦,殷鸿福.滇东黔西陆相二叠纪—三叠纪界线地层研究[M].武汉:中国地质大学出版社,2001.88.
- [6] 王尚彦,殷鸿福.华南陆相二叠—三叠系界线地层研究新进展[J].中国地质,2001,28(7):16—21.
- [7] 王尚彦,殷鸿福.滇东黔西地区陆相二叠—三叠系界线粘土岩特征[J].中国地质,2002,29(2):155—160.
- [8] 张素新,刘江平,肖少泉,等.贵州断衫P/T界线粘土岩研究[J].地球科学——中国地质大学学报,2002,27(增刊):259—264.
- [9] 周瑶琪,柴之芳,毛雪瑛,等.混合成因模式——中国南方二叠—三叠系界线地层元素地球化学及其启示[J].地质评论,1991,37(1):51—63.
- [10] 张俊明,李国祥,周传明.滇东下寒武统含磷岩系底部火山喷发事件沉积及其意义[J].地层学杂志,1997,21(2):91—95.

## CLAYROCKS OF THE TERRESTRIAL PERMIAN-TRIASSIC BOUNDARY OF CHAHE SECTION, WEINING, WESTERN GUIZHOU PROVINCE, SOUTH CHINA : BASED ON X-RAY DIFFRACTION AND SCAN ELECTRONIC MICROSCOPE\*\*

ZHANG Su-xin, PENG Yuan-qiao, YU Jian-xin, YANG Feng-qing, YIN Hong-fu, SHI Yu-fang

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** Applying the concept of the Permian-Triassic Boundary Stratigraphic Set (PTBST) to the non-marine Permian-Triassic boundary (PTB) sections in Western Guizhou Province, South China, we have found that the clayrocks of the PTB in these sections have the same origin and exhibit a remarkably similar vertical succession to similar rocks found at the marine Permian-Triassic boundary of the Meishan Section. The X-ray diffraction and scan electronic microscope studies of some clays and/or mudstones from the Chahe Section, indicate that the composition of the clays in the PTBST (beds 66f-68a) is very different from that of the clays found either under or above the PTBST beds of the same section. The clay minerals in the clayrocks of the PTBST are mainly composed of illite-montmorillonite interlayers, with few montmorillonites and chlorites. Whereas the other clayrocks and/or mudstones underlying and overlying the PTBST are made of chlorites and/or kaolinities. Some special mineral contents, such as hexagonal dipyrmaid quartz, zircons and few spherules, and the abnormal contents of some elements are only found in the calyrocks in the PTBST. These particular characteristics of the PTBST clayrocks are attributed to their special volcanic formation and thus provide a reliable auxiliary marker for high-resolution demarcation of the terrestrial PTB.

**Key words:** Western Guizhou Province, South China; Chahe Section; terrestrial; Permian-Triassic boundary; clayrock