

## 湖北兴山大峡口浅海相二叠系— 三叠系界线附近粘土岩研究

张素新<sup>1</sup>, 赵来时<sup>1</sup>, 童金南<sup>1,2</sup>, 杨浩<sup>2</sup>

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,湖北 武汉 430074;  
2. 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、能谱等鉴定分析方法,对湖北兴山大峡口剖面二叠系—三叠系界线附近的 8 层粘土岩研究发现,各层粘土岩中的主要粘土矿物均为伊/蒙混层矿物,并且各层中均含有数量不等的六方双锥石英和黄铁矿,非粘土矿物为石膏,个别层位中还含有粘土微球粒。该 8 层粘土岩均为火山物源成因,联系相应的火山事件记录表明该地区在二叠系—三叠系之交经历了多次火山活动。这些火山事件与同时段牙形石的绝灭和延缓复苏呈现一致性。频繁的火山活动是造成二叠纪—三叠纪之交生物及生态系重大转折的主导事件之一。

**【关键词】** 湖北兴山;二叠系—三叠系界线;粘土岩;火山活动

中图分类号:P588.22 文献标识码:A

文章编号:1001-6872(2007)03-0094-07

在我国华南地区,不论是海相地层还是陆相地层二叠系—三叠系(P/T)界线附近均存在多层粘土岩。近 20 余年来,很多学者对我国浅海相(浙江长兴煤山、湖北黄石冶钢二门、重庆中梁山、四川上寺、贵州普定高窝)、滨海相(贵州郎岱中寨)、海陆交互相(云南宣威密德)、陆相(贵州威宁岔河)及深水相(贵州断杉)和广西柳桥 P/T 界线附近粘土岩进行过大量的研究<sup>[1-10]</sup>。在粘土岩中发现六方双锥石英、磷灰石、锆石、火山球粒及火山凝灰结构等,表明

这些地方的 P/T 界线附近粘土岩的形成均与火山物源有关,其中粘土矿物均系火山灰(尘)转化而成<sup>[6-10]</sup>。这些火山事件层的研究,为 P/T 界线地层的划分与对比、各种地质事件的形成、二叠纪末生物大灭绝的原因以及全球海相 P/T 界线层型剖面和点(GSSP)的确定起到了非常重要的作用。

最近,在湖北兴山大峡口地区 P/T 界线附近地层中也发现多层类似的粘土岩,对此剖面中的粘土岩研究为查清这些粘土岩的基本特征及其与火山事

收稿日期:2007-06-17; 改回日期:2007-08-20

基金项目:国家自然科学基金(40572002 和 40574028);国家杰出青年基金(40325004)

作者简介:张素新,女,48岁,高级工程师,岩石学专业,研究方向:矿物学、岩石学及事件地层学。

件是否有关,探索 P/T 之交地质转折期的事件性质提供论据。

### 1 样品的采集及研究方法

大峡口剖面位于湖北省宜昌市兴山县大峡口镇(N31°06.874', E111°48.221')。在构造上位于中扬子台地的北部,连续出露晚二叠纪到早三叠纪地层。前人在该剖面二叠纪—三叠纪的沉积相和层序地层研究时曾发现牙形石<sup>[11,12]</sup>。

样品采自湖北兴山大峡口 P/T 界线附近地层中,共采集 8 层粘土岩(每层 1 个),自下而上的编号分别为: H9, H10, H12, H14, H18, H21, H23 和 H42(图 1)。将野外采回的 8 个粘土岩样品进行室内处理后,再进行 X 射线定性和定量分析。采用淘洗的方法使粘土矿物与碎屑物质分离,碎屑物质首先在立体显微镜下进行分析,挑出其中形态完好的,再利用扫描电镜及能谱仪进行观察、照相和分析,确定其形态、大小及矿物种类。

实验采用中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室的 D/max-3B 型粉晶衍射仪、Quanta 200 型扫描电镜及 GENESIS 型能谱仪进行分析。粉晶衍射仪的测试条件为:管压 30 kV,管流 30 mA, Cu 靶, Ni 滤波,扫描速度 5.9 min;扫描电镜的测试条件为:加速电压为 20 kV,工作电流为 86 pA,工作距离为 11.5 mm;能谱仪的测试条件为:加速电压 20 kV,工作电流为 4.4 nA,工作距离为 11.5 mm。

### 2 粘土矿物分析

#### 2.1 物相分析

8 件粘土岩样品的 X 射线粉晶衍射分析结果(表 1)表明,各层中的粘土矿物主要为伊/蒙混层矿物,其含量大部分层位为 80%左右,只有 12 层和 18 层分别为 30%和 20%,在第 9, 10, 12 层中还含

表 1 湖北兴山大峡口剖面各层粘土岩中的矿物种类及组合含量

Table 1 Mineral types, assemblage and content in the clay rocks from the Permian-Triassic boundary at the Daxiakou Section, Xingshan

样品号	粘土矿物种类、组合及含量/ %	粒状矿物种类、组合及含量/ %
H42	伊/蒙混层矿物(60)	石膏(30) + 石英(5) + 方解石(5)
H23	伊/蒙混层矿物(80)	石膏(20)
H21	伊/蒙混层矿物(85)	石英(5) + 方解石(10)
H18	伊/蒙混层矿物(20)*	石膏(45) + 石英(5) + 方解石(30)
H14	伊/蒙混层矿物(80)	石膏(15) + 石英(5)
H12	伊/蒙混层矿物(30) + 伊利石(20)	石膏(40) + 石英(10)
H10	伊/蒙混层矿物(80) + 伊利石(10)	石膏(10)
H9	伊/蒙混层矿物(80) + 伊利石(10)	石膏(5) + 石英(5)

\*按矿物含量(20%)本层非粘土岩,为引文方便,未单独描述

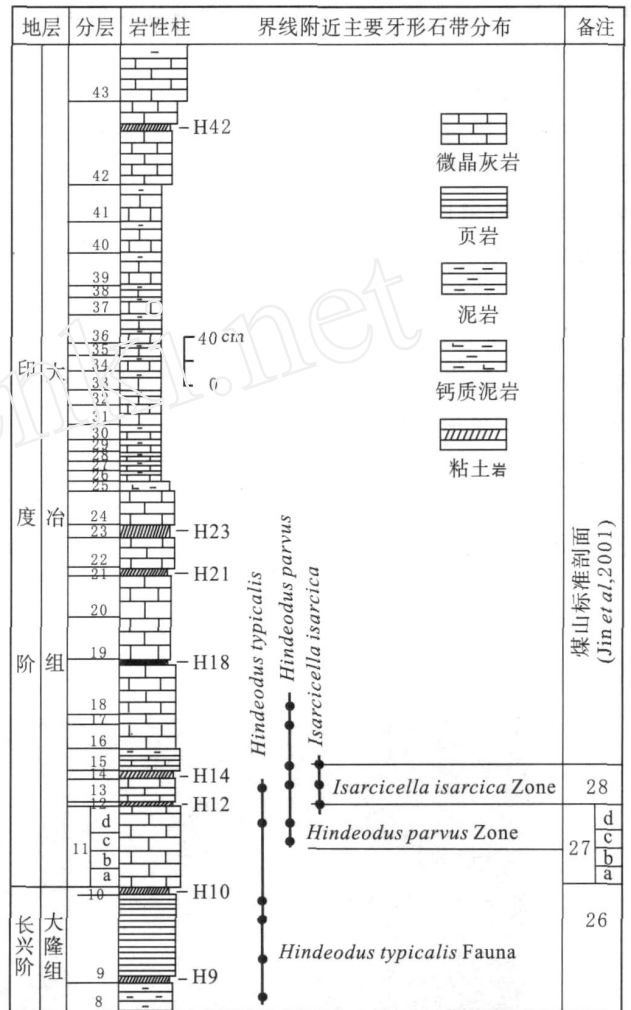


图 1 湖北兴山大峡口剖面地层情况及采样位置

Fig. 1 Stratigraphic sequence, sampling position and key conodont distribution at the Daxiakou Section, Xinshan, Hubei Province

有 10%~20%的伊利石,各层中均含有少量的粒状矿物石膏、石英和方解石,对各层粘土岩提纯出的粘土矿物进行 X 射线粉晶衍射定量分析结果(表 2)显示。在第 9 层中,伊/蒙混层矿物的含量为 80%,伊利石的含量为 20%;在第 10 层中,伊/蒙混层矿物的含量为 85%,伊利石的含量为 15%;在第 12 层中,伊/蒙混层矿物的含量为 70%,伊利石

表 2 各层粘土岩提纯后粘土矿物的含量  
Table 2 Content of Clay minerals of the purified clay rocks

样品号	伊/蒙混层矿物/ %	伊利石/ %
H42	100	
H23	100	
H21	100	
H18	100	
H14	100	
H12	70	30
H10	85	15
H9	80	20

的含量为 30 % ;其余各层均只为伊/蒙混层矿物,含量为 100 %。

### 2.2 形态分析

扫描电镜对粘土矿物的形态分析得知,第 9, 12, 23 和 42 层中的粘土矿物主要为不规则片状伊/蒙混层矿物(照片 1a, c, g, h),最小的 1 μm 左右,最大的 5 μm 左右;第 10, 14, 18 和 21 层中的粘土矿物主要为泥粒状的伊/蒙混层矿物(照片 1b ~ f),颗粒大小在 1 μm 左右。从照片 1 中看出,伊/蒙混层矿物总体上结晶较差,图像边界有些模糊不清,这从照片 1 的 X 射线衍射图(图 2)中也得到了证实,伊/蒙混层矿物的衍射峰宽广而且不对称。

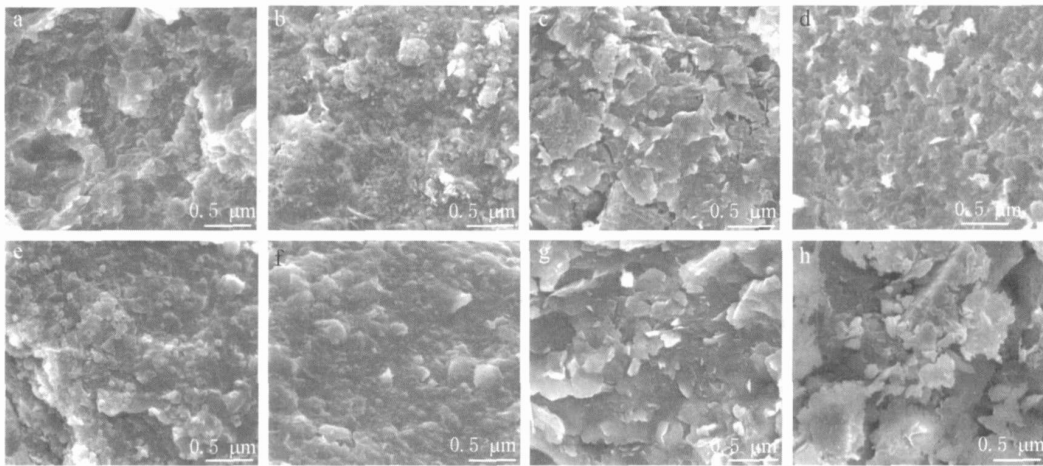
## 3 碎屑物质及球粒分析

提纯粘土矿物后的剩余碎屑物质,经淘洗处理后,先在立体显微镜下进行观察,挑出其中形态完好

的物质,利用环境扫描电镜及能谱仪进行观察及成分分析,确定其形态、大小及矿物种类。

(1) 六方双锥石英:在第 10, 21 层中发现大量六方双锥石英,而第 14, 18 层中少量。这些六方双锥石英可分为 3 种类型:一种是晶形完好棱角明显的六方双锥石英(照片 2a ~ d);第二种是具有撞击痕的六方双锥石英,表面有撞击坑(照片 2e ~ h);第三种是棱角被圆化的六方双锥石英(照片 2i ~ l)。在第 9, 12, 23 和 42 层中均发现有极少量表面被熔蚀或被撞击的六方双锥石英(照片 2m ~ p)。六方双锥石英成分为 SiO<sub>2</sub>(图 3),无色透明,六方双锥状晶形,其颗粒大小在 150 μm ~ 200 μm 之间。

(2) 黄铁矿:各层粘土岩中均发现有黄铁矿,其形态为立方体、八面体或立方体与八面体聚形(照片 3a ~ h),晶面完全光滑,无条纹,成分分析结果见图 4。在第 9 层中含有少量的黄铁矿,在第 10, 12, 14, 18, 23 及 42 层中均含有大量的黄铁矿,在第 21 层



照片 1 各层中的伊/蒙混层矿物外貌图  
a. H9; b. H10; c. H12; d. H14; e. H18; f. H21; g. H23; h. H42  
Photo 1 I/M mixed-layer minerals from the clay rocks at the Daxiakou Section

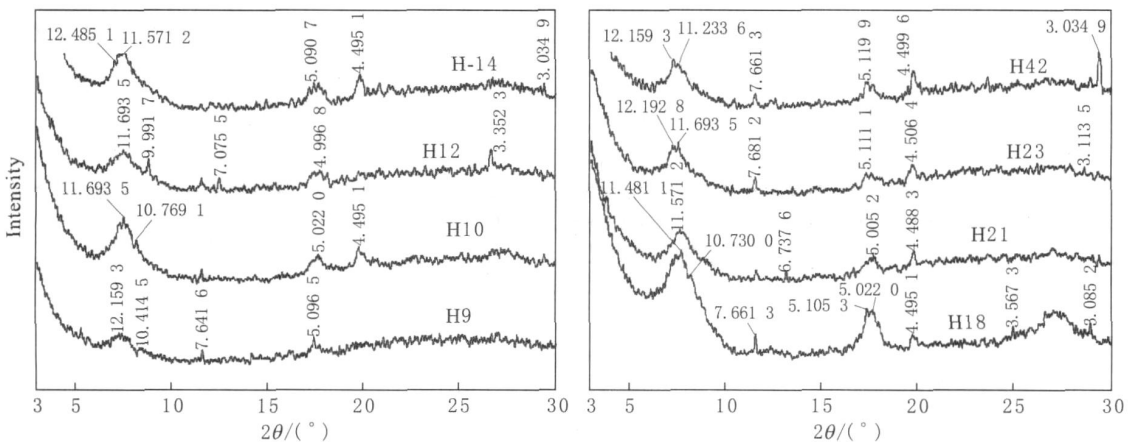
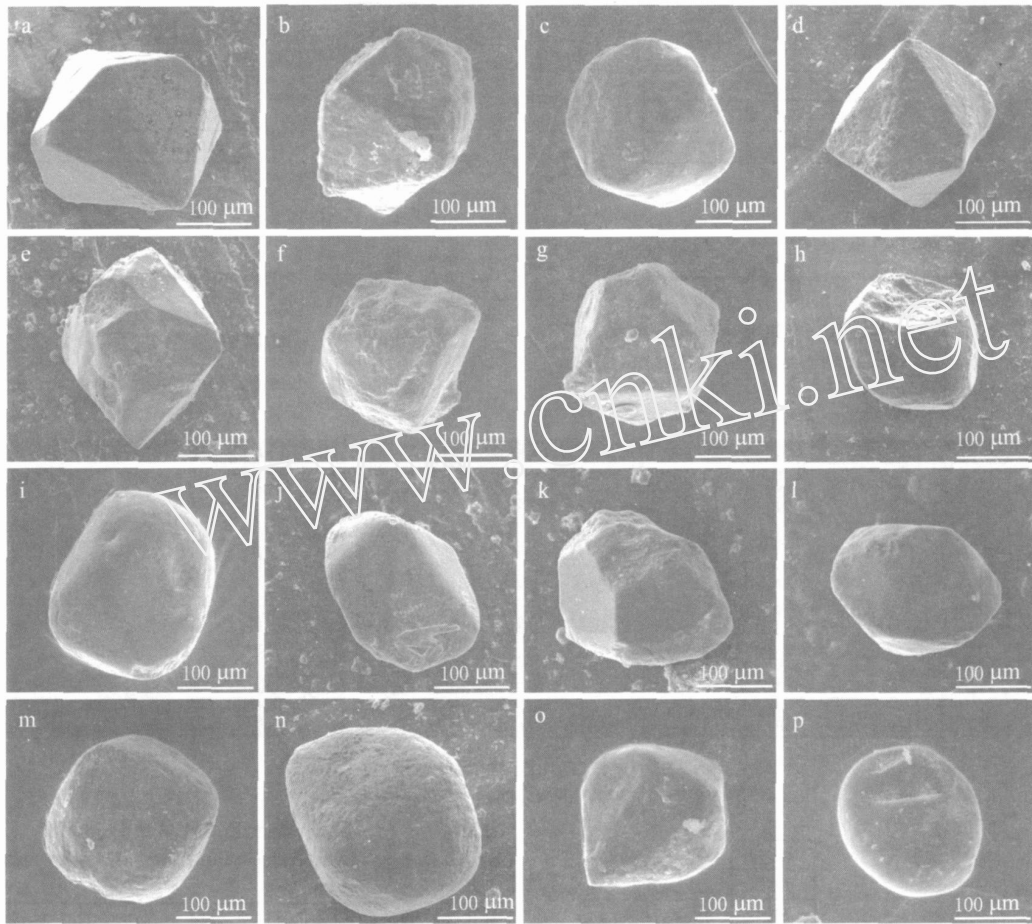


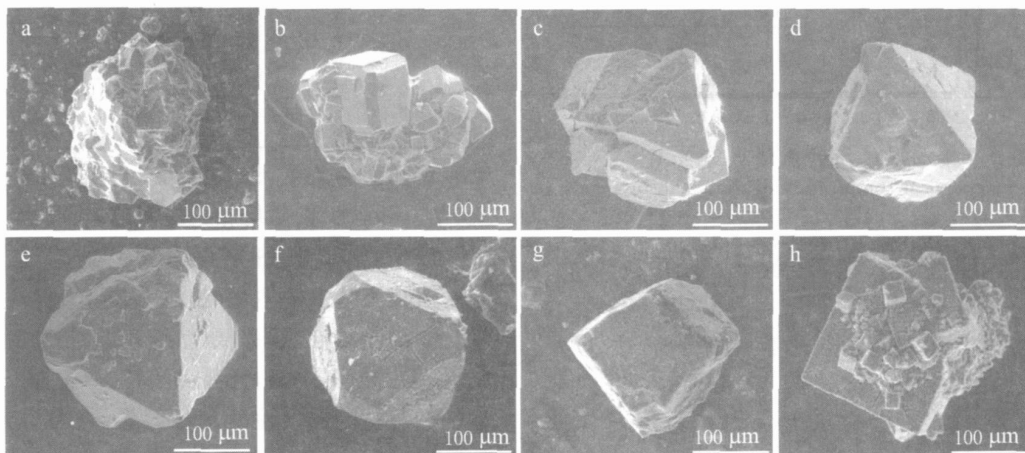
图 2 各层粘土岩提纯后的 X 射线衍射叠加图  
Fig. 2 Diagram showing the results of the purified clay rocks by X-ray mineral power diffractometer



照片 2 各粘土岩层中六方双锥石英外貌图

a. H10; b. H14; c. H18; d. H21; e. H10; f. H14; g. H18; h. H21; i. H9; j. H10; k. H12; l. H14; m. H18; n. H21; o. H23; p. H42

Photo 2 Hexagonal bipyramid quartz in the clay rock



照片 3 不同粘土岩层中的黄铁矿晶形特征

a. H9; b. H10; c. H12; d. H14; e. H18; f. H21; g. H23; h. H42

Photo 3 Characteristics of crystals of pyrite in the clay rock

中仅含有极少量的黄铁矿。

(3) 粘土微球粒:在第 12 层中发现很多土黄色的粘土微球粒,其形状为球形或水滴状球形,大小在 200 μm 左右(照片 4)。经能谱仪鉴定微球粒的成

分主要为 Si, Al, Fe, K, O, 其次为 Mg, Mo, Ca(图 5),从氧化物定量分析结果来看,除 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 特别高外,其他与一般伊/蒙混层矿物粘土岩的化学成分相似,其赋存于粘土岩中,可称其为粘土微球粒。

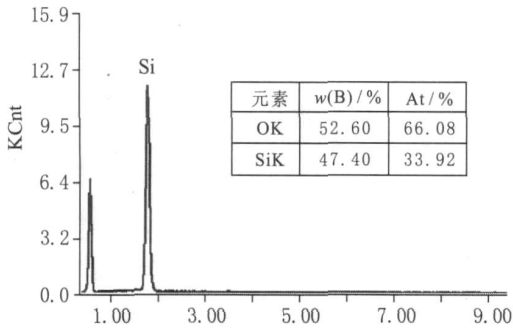


图3 六方双锥石英的能谱仪成分分析结果  
Fig.3 The chemical compositions of the hexagonal bi-pyramid quartz

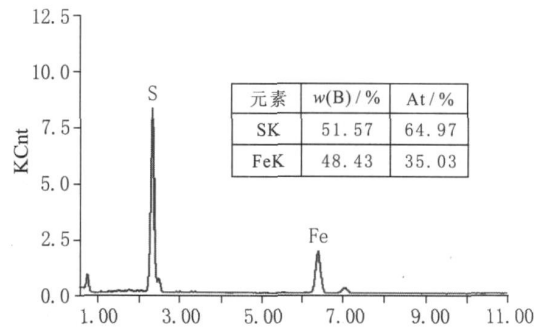
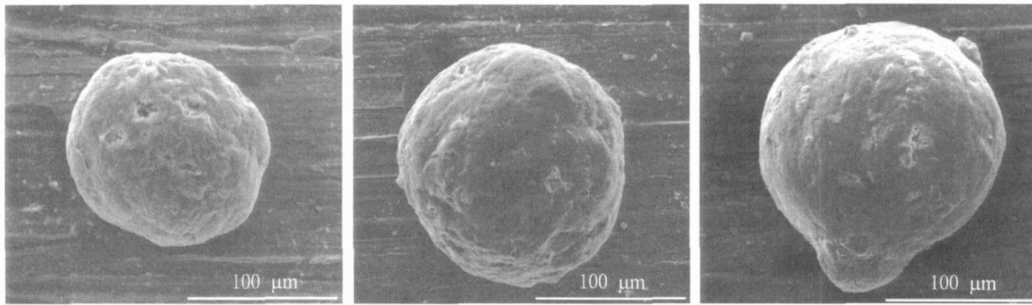


图4 黄铁矿的能谱仪成分分析结果  
Fig.4 The chemical composition of the pyrite



照片4 HXD-12层中的粘土微球粒  
Photo 4 Micro-spheres clay from the sample H12

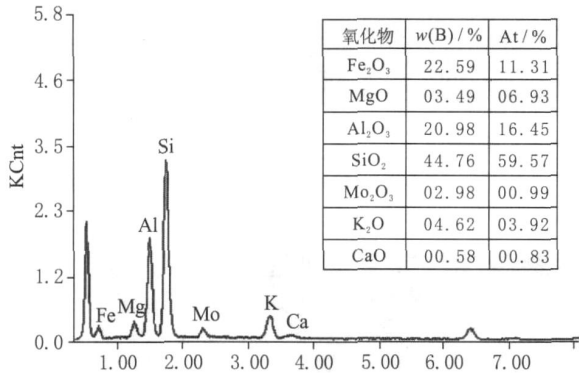


图5 粘土微球粒的能谱成分分析  
Fig.5 The chemical composition of the micro-ball clay

表3 粘土全岩化学成分分析

Table 3 Chemical compositions of whole rock of mud-stone

氧化物	H9	H10	H12	H14	H18	H21	H23	H42
SiO <sub>2</sub>	55.40	51.70	54.31	48.56	40.45	56.19	54.72	53.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.86	24.75	22.46	22.42	19.33	26.80	25.54	24.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.75	6.29	6.71	11.32	5.05	1.08	4.42	4.36
MgO	3.88	3.69	3.30	3.34	2.77	3.76	3.75	3.67
CaO	2.26	2.75	2.76	3.65	16.86	4.33	1.54	3.68
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.07	0.35	0.07	0.07	0.04	0.07	0.08
K <sub>2</sub> O	5.72	6.04	5.86	5.76	4.99	6.61	6.38	6.21
TiO <sub>2</sub>	0.50	0.41	0.39	0.38	0.44	0.51	0.38	0.42
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.002	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.12	0.09	0.07	0.10	0.04	0.06	0.06
SO <sub>2</sub>	3.14	3.87	3.50	4.12	9.67	0.64	3.01	3.42
总和	100.02	99.69	99.75	99.70	99.76	100.03	99.86	99.98

动着有着密切的关系,即其物源为浅海盆地火山降落灰(尘),并含少量晶屑和火山泥球,富含硫。

(1) 粘土矿物:该剖面 P/ T 界线附近自下而上的 8 层粘土岩中的主要粘土矿物均为伊/蒙混层矿物。在剖面结构上该 8 层粘土岩的岩性和序列均与其上、下岩层不协调,且界面清楚,厚度很薄(图 1),显然有短暂的突发性异常物源供给;考虑到其所属的浅海低能碳酸盐环境中不会发生阵发性高密度流,故只有突发性火山喷发产生的降落灰有能力予以供给。另外,伊/蒙混层矿物是由火山碎屑沉积物转化而成,特别是火山灰不论是在陆地或海洋。因此,剖面中伊/蒙混层矿物所处岩层异常物源的突发性和伊/蒙混层矿物与火山灰物质的渊源性两者相互印证,明确显示此地伊/蒙混层矿物的成因与火山物源有关,且在浅海低能环境的情况下此物源并非

#### 4 粘土岩全岩化学成分分析

对 8 层粘土岩进行全岩化学成分分析(表 3)显示,第 9,12,21,23 和 42 层的 w(SiO<sub>2</sub>) 在 53% ~ 60% 之间,第 10,14 和 18 层的 w(SiO<sub>2</sub>) 在 40% ~ 53% 之间;w(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 在 20% 左右。从整体来看,各层的化学成分与中性或基性火山岩的化学成分相似。

#### 5 粘土岩火山物源成因分析

根据粘土岩中的粘土矿物和碎屑物质分析结果,这 8 层 P/ T 界线附近粘土岩的形成均与火山活

水携型火山碎屑沉积物而是浅海降落灰和降落尘。伴随伊/蒙混层矿物一起出现的尚有六方双锥石英、热液黄铁矿和火山泥球等,它们又都是火山喷出物的典型标志,更是伊/蒙混层矿物由火山灰(尘)转化而来的既直接又充分的佐证。

(2) 六方双锥石英:每层碎屑物质中都有与火山作用有关的、含量不等的六方双锥石英。六方双锥晶形的相石英是在 573 ~ 867 之间的高温条件下才能形成。在慢速冷却下,高温的相石英可向低温的相石英转变,但仍保留六方双锥状晶形假象;而在快速冷却时,相石英的晶体内部结构和六方双锥晶形均得以保持。在快速冷却的火山岩中常可见六方双锥晶形的相石英<sup>[13]</sup>,因为六方双锥石英是中酸性火山岩或浅成岩斑晶,所以是火山碎屑沉积物的典型标志。被撞击或圆化的六方双锥石英分别是火山喷发中颗粒相互撞击和热力融蚀的结果。

(3) 黄铁矿:每层碎屑物质中均有数量不等的立方体或八面体黄铁矿。热液生长的黄铁矿在 250 和过饱和度高的条件下,形成的是晶面完全光滑的立方体晶体;在 450 和过饱和度低的条件下,形成的是晶面上有细条纹的八面体及八面体和立方体聚形的黄铁矿。随着结晶温度及过饱和度增大时,热液生长的黄铁矿之形态序列为:立方体—八面体—五角十二面体。由此可见,立方体黄铁矿结晶温度相对较低,而八面体和五角十二面体的黄铁矿结晶温度相对较高<sup>[14]</sup>。根据该剖面各层中的黄铁矿为晶面完全光滑的立方体和八面体,并且六方双锥石英以及火山泥球共存的这一现象,表明这些黄铁矿是火山热液产物,并在其结晶后由火山喷发作用带入火山碎屑中。

(4) 火山泥球:在第 12 层粘土岩中,发现有大量的粘土微球粒<sup>[15]</sup>,为典型的、常见的火山泥球构造,粒度大小均匀,具和六方双锥石英及黄铁矿的当量粒度相当,表明它们是与火山灰(尘)共同搬运和沉降的。

(5) 非粘土矿物石膏:通过 X 射线粉晶衍射分析得知,每层粘土岩中均含有数量不等的石膏,在立

体显微镜下均见无色透明、个体细小(100 μm ~ 200 μm)的自形板状石膏。伊/蒙混层矿物含量高(80%左右)的层位,石膏含量低(10%左右),伊/蒙混层矿物含量低(20%~30%)的层位,石膏含量高(40%左右)。石膏主要是化学沉积作用的产物<sup>[13]</sup>,在海水无咸化迹象时出现石膏沉积作用,表明海中水的硫含量突然增加,这种情况只有富硫火山喷发后骤然供硫才能发生,既火山喷发物中较富含硫和 H<sub>2</sub>S 等含硫物质,当这些硫和硫化物伴随降落灰落入海水中后使海水的硫组分突然增高,火山碎屑溅入海水时又会把空气带入海水中使之增氧而成氧化环境,加上海水中原存的 Ca<sup>2+</sup> 及其他因素的共同作用,使之超过 CaSO<sub>4</sub> 溶度积而形成石膏沉积物。此处粘土岩层中石膏含量的高低可反映火山喷出物中硫和硫化物含量的多少。

总之,这 8 层粘土岩的形成均与火山活动有关,均由中或酸性火山喷发,火山灰降落伴随正常沉积物沉积而形成。其不同点可能是火山喷发的强弱、剖面离火山喷发源的远近、和喷出岩的性质不同而已。这与华南其它地区 P/T 界线附近粘土岩的成因分析是一致的。根据赵来时对该剖面牙形石带的分析结果,这 8 个粘土岩所纪录的火山事件与牙形石在二叠纪末的绝灭和三叠纪初的复苏迟缓是一致性(图 1)。

## 6 结 论

6.1 兴山剖面 P/T 界线附近粘土岩的主要粘土矿物成分为伊/蒙混层矿物,碎屑矿物是六方双锥石英和热液型黄铁矿;非粘土自生矿物为石膏,具有火山泥球构造。

6.2 该粘土岩物源为火山喷发物质,其粘土矿物系由浅海降落火山灰(尘)转变而成,表明该区域 P/T 之交曾发生频繁的火山活动,因而,该 8 层粘土岩是该区地质历史上 P/T 之交的火山事件记录。

6.3 兴山地区 P/T 之交的火山事件与相应时段牙形石的绝灭和迟缓复苏呈现一致性,表明这些火山事件对本区生物发展进程造成一定影响。

## 参考文献

- [1] 何锦文,柴之芳,马淑兰. 浙江长兴 P-T 界线剖面高温石英的发现与意义[J]. 科学通报, 1988, 33(14): 1 088-1 091.
- [2] 殷鸿福,黄思骥,张克信,等. 华南二叠—三叠纪之交的火山活动及其对生物绝灭的影响[J]. 地质学报, 1989, 63(2): 167-181.
- [3] 吴顺宝,任迎新,毕先梅. 湖北黄石、浙江长兴煤山二叠—三叠系界线处火山物质及粘土岩成因探讨[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1990, 15(6): 589-595.
- [4] 黄思静. 四川重庆中梁山 P/T 界线粘土层中非粘土组分的研究[J]. 沉积学报, 1993, 11(3): 105-113.
- [5] 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.
- [6] 张素新,刘江平,肖少泉. 贵州断杉 P/T 界线附近粘土岩研究[J]. 地球科学, 2002, 27(增刊).

- [7] 张素新,冯庆来,曾毅. 广西柳桥深水相二叠系——三叠系界线附近粘土岩特征[J]. 电子显微学报,2003,22(6):637-638.
- [8] 张素新,彭元桥,喻建新,等. 黔西威宁盆河陆相二叠系——三叠系界线附近粘土岩研究[J]. 地质科技情报,2004,23(1):2-26.
- [9] 张素新,喻建新,杨逢清,等. 黔西滇东地区浅海、滨海及海陆交互二叠系——三叠系界线附近粘土岩研究[J]. 矿物岩石,2004,24(4):81-86.
- [10] 高振刚,徐道一,张勤文,等. 四川广元上寺二叠系——三叠系界线层内微球粒的发现与研究[J]. 地质论评,1987,33(3):204-210.
- [13] Yuanqiao Peng, Suxin Zhang, Jianxin Yu, *et al.* High-resolution terrestrial Permian-Triassic eventostratigraphic boundary in western Guizhou and eastern Yunnan, southwestern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 215(2005):285-295.
- [11] 王正允. 湖北兴山大峡口二叠系沉积相及层序地层特征[J]. 江汉石油学院学报,1998,20(3):1-7.
- [12] Wang G Q, Xia W C. Conodont zonation across the Permian-Triassic boundary at the Xiakou section, Yichang city, Hubei Province and its correlation with the Global Stratotype Section and Point of the PTB[J]. *Can J Earth Sci*,2004,41:323-330.
- [13] 王濮,潘兆掄,翁玲宝. 系统矿物学[M]. 北京:地质出版社,1982.
- [14] 薛君治,白学让,陈武. 成因矿物学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991.
- [15] 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.

## STUDY ON THE CLAYSTONE NEAR THE PERMIAN-TRIASSIC BOUNDARY FROM THE DAXIAKOU SECTION, XINGSHAN, HUBEI PROVINCE

ZHANG Su-xin<sup>1</sup>, ZHAO Lai-shi<sup>1</sup>, TONG Jin-nan<sup>1,2</sup>, YANG Hao<sup>2</sup>

1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;*
2. *Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*

**Abstract:** Such instruments as D/max-3B mineral powder diffractometer, Quanta-200 environmental scanning electron microscope and energy dispersive spectrometer were used to study the mudstones around the Permian-Triassic boundary at the Daxiakou Section, Xingshan, Hubei Province, China. It is showed that all the mudstones were characterized by predominant illite-montmorillonite mixed-layer (I/M) minerals, with different amount of high-temperature hexagonal bipyramid (HB) quartzes and pyrites. Micro-spheres clay occurred occasionally in some beds. Detailed study revealed that volcanic activity was once frequent in the area or in the neighboring areas during the Permian-Triassic transition though the intensity of eruption and the position of eruption centers might vary during that period. The volcanic activity was considered to be one of the leading events to cause the momentous turnover of biota and ecosystem during the great Permian-Triassic transition.

**Key words:** Hubei Xingshan; Permian-Triassic boundary; claystone; volcanic activity

ISSN 1001-6872(2007)03-0094-07; CODEN: KU YAE2

**Synopsis of the first author:** Zhang Suxin, female, 48 years old, a senior engineer of petrology. Now she is engaged in the research of mineralogy, petrology and incident stratigraphy.