

# 滇东黔西地区陆相二叠—三叠系界线 粘土岩特征

王尚彦<sup>1,2</sup> 殷鸿福<sup>3</sup>

(1.中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室,贵州 贵阳 550003;  
2.贵州省地质调查院,贵州 贵阳 550004;3.中国地质大学,湖北 武汉 430074)

**摘要:**在滇东黔西地区,海相和陆相二叠—三叠系界线附近均有界线粘土岩存在。本文介绍了该区陆相界线粘土岩的特征,并探讨了其成因。这些粘土岩主要矿物成分为伊/蒙混层矿物(20%~80%)和高岭石(35%~80%),碎屑物中有锆石、磷灰石、六方双锥石英、其他类型石英和微球粒等。提出界线粘土岩中的物质主要是火山成因,也有正常沉积物的加入,可能还伴有撞击作用的影响。

**关键词:**二叠—三叠系界线;粘土岩;滇东黔西

**中图分类号:**P534.46~51 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2002)02-0155-06

华南海相二叠—三叠系界线附近,存在多层粘土岩层。这些粘土岩层引起了人们的关注,许多学者从不同角度对其作了精细研究<sup>[1~2]</sup>。本次工作发现,在滇东黔西地区不论是海相地层还是陆相地层,在二叠—三叠系界线附近也都存在至少1层的粘土岩层<sup>[3]</sup>。笔者选不同相区的代表性剖面采集界线附近粘土岩作了研究,研究重点放在陆相二叠—三叠系“界线粘土岩层”,即卡以头组<sup>[4]</sup>下部的粘土岩层。

## 1 粘土矿物X衍射特征

在陆相的3条剖面中,选取5件界线附近粘土岩样品,由中国地质大学(武汉)测试中心做了X衍射,对粘土矿物进行了定量分析。分析条件是:仪器型号为日本理光公司D/MAX-3B粉晶X衍射仪,Cu靶,Ni滤波,30 KV,30 mA,4度/分扫描。

X衍射结果表明,这些粘土矿物主要为伊/蒙混层矿物和高岭石,个别有绿泥石。所含碎屑矿物,主要为石英,次为长石和针铁矿。

(1)伊/蒙混层矿物:这种混层矿物指伊利石和蒙脱石层以各种比例交互连生,组成伊利石和蒙脱

石含量比例不同的伊利石—蒙脱石混层矿物。在X衍射图谱上,特征峰既不是伊利石的 $10 \times 10^{-8} \text{cm}$ ,也不是蒙脱石的 $15 \times 10^{-8} \text{cm}$ ,而是介于 $10 \times 10^{-8} \text{cm} \sim 15 \times 10^{-8} \text{cm}$ 之间。伊/蒙混层粘土矿物在海相二叠—三叠系界线附近粘土岩中普遍存在。采集的陆相界线附近粘土岩样品分析提纯后的伊/蒙混层矿物特征与华南海相地层的二叠—三叠系界线附近粘土岩中所具有的伊/蒙混层矿物很相似。

(2)高岭石和蒙脱石:高岭石矿物在海相二叠—三叠系界线附近粘土岩中含量不高或缺乏,浙江煤山B剖面粘土岩中含量2.9%~10.1%,湖北黄石剖面为1.1%~8.4%、重庆凉风垭剖面,全为伊/蒙混层矿物,无高岭石。而本次工作所做的陆相界线附近粘土岩中高岭石却含量较高。在宣威组煤层中的粘土岩夹矸,则以高岭石粘土矿物为主。

高岭石在X衍射图上的特征峰值为:WG—54,7.2192,3.5814;WG—56,7.2192,3.5758;TL—6,7.2074,3.5814;PQ—4C,7.1958,3.5843。蒙脱石仅在WC—46样中发现,其X衍射特征峰值为5.0733。此外,在该样品中,X衍射时发现绿泥石(特征峰值14.3941)和

收稿日期:2001-01-22;改回日期:2001-01-14

基金项目:国家自然科学基金重点项目(49632070)和贵州省地矿厅专项经费资助。

作者简介:王尚彦,男,1961年生,博士,高级工程师,从事基础地质调查研究工作。

高岭石(特征峰值7.1610,3.5477)存在,但提纯后未发现,估计颗粒较大,在 $<2\mu\text{m}$ 的粘土矿物中未检测到。

## 2 粘土岩中的碎屑物

对研究区6条剖面的二叠—三叠系界线粘土岩进行了取样淘选。其中的海相剖面粘土岩中的碎屑物特征与煤山剖面 and 上寺剖面相似,未作进一步工作。只着重对陆相的4条剖面中卡以头组底部的5件粘土样做了鉴定统计,结果:密德剖面第6层伊/蒙混层矿物65%,高岭石35%;哲觉剖面56层a伊/蒙混层矿物40%,高岭石60%和56层b伊/蒙混层矿物40%,高岭石60%;岔河剖面的46层伊/蒙混层矿物80%,蒙脱石20%。在这些碎屑物中,有火山成因的六方双锥石英、烟灰色不规则石英、锆石、磷灰石、金红石、云母;球粒有的是撞击形成;其他碎屑物则为沉积成因。

(1)六方双锥石英:在密德剖面 and 岔河剖面中较多,占石英总数的10%~15%。在哲觉剖面a层中也偶尔见到。密德剖面中的六方双锥石英颗粒较小,粒径0.01~0.2 mm者为主,洁净透明;面岔河剖面的六方双锥石英颗粒较大,粒径以0.1~0.3 mm者为主,多为透明状;哲觉剖面中的六方双锥石英大多为棱角状,个别稍有磨圆,长短轴比1:1~1.2:1。这些石英为六方双锥状,个体总的较小,透明,晶形完整。

(2)其他类型石英:在各粘土岩的碎屑物中,这类石英相对含量较高,是碎屑中的主要矿物。不同剖面中,也有一些差异。密德剖面 and 岔河剖面相似,以三方柱双锥者为主,粒径0.5 mm者居多,大多无色,最大特征是有些石英内含黑色包裹体。只有少量者有磨圆,大多呈棱角状。哲觉剖面56层a和b的这类石英特征基本相同,以烟灰色为主,多无晶形,呈粒状,表面粗糙,常具不规则裂纹;除此而外,也有少量三方柱双锥石英颗粒存在。

(3)锆石:密德剖面 and 岔河剖面界线粘土岩中较多(都 $>50$ 粒),哲觉剖面56a层中只见有几粒。这些锆石呈四方柱状,多数无色透明,少量带粉红色。锆石棱角明显,很少磨圆。以长柱状为主,测量结果见表1。与滇东黔西地区宣威组煤层夹矸相比较,有极大的相似性(图1~2),反映出它们的火山成因特征。

(4)磷灰石:仅在密德 and 岔河剖面界线粘土岩中见有几粒。无色透明,呈六方柱状,多断裂,粒径0.1~0.15 mm。

(5)金红石:在密德剖面第6层粘土岩中见有几粒,粒径 $<0.1$  mm。红黄色,柱状,条痕黄色。

(6)球粒:所见球粒,主要集中在哲觉剖面上,其他剖面仅见几粒。球粒类型有两种,一种是透明的硅质球,一种是黑色的钡质金属球。硅质球极圆,表面光滑,玻璃光泽,洁净透明,直径0.2~0.3 mm。正交镜下全消光或显弱光性,表明它们属玻璃质,显弱光性者可能是脱玻后的结果。金属球呈黑色,表面光滑,呈金属光泽,直径0.05~0.1 mm为主。正交镜下全消光,为非晶质。绝大部分极圆,少数呈泪滴状。

两种球粒的物理特征(非晶质、球形、泪滴状等),表明它们是在熔融或半固结状态下快速冷却形成,而非沉积成因。有两种机制都可以解释上述现象:一是天体撞击地壳,使靶区岩石熔融飞溅返落地面时形成,其成分受靶区基岩影响;二是火山爆发物抛向高空的熔融液滴落回地面时形成,其成分由岩浆成分决定。从华南海相研究成果来看,海相界线粘土岩中的球粒大部分是火山成因的。从这次工作所发现的陆相粘土岩中球粒的化学成分和物理特征看,这些球粒可能是混合成因的。

笔者将两个颗粒做了电子探针分析,测试的结果基本相同(表2~3)。黑色球粒成分变化大,至少有两个成分相区,一以Ba为主(表3中点号1~3),

表1 密德剖面 and 岔河剖面二叠—三叠系界线粘土岩中锆石长/宽频率和长度频率  
Table 1 Zircon length/width frequency and length frequency in Permian-Triassic boundary claystone at the Mide section and Chabe section

样号	密德剖面 TL-6(长/宽)				岔河剖面 WC-46(长/宽)					
	1~2	2~3	3~4	4~5	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7
频率	16.3%	39.5%	39.5%	4.7%	6.0%	17.6%	23.5%	23.5%	14.7%	14.7%
样号	密德剖面 TL-6(长度)				岔河剖面 WC-46(长度)					
	10~	0.15~	0.20~	0.30~	0.10~	0.15~	0.20~	0.25~	0.30~	0.35~
频率	23.9%	52.2%	19.5%	4.4%	6.0%	26.5%	26.5%	11.6%	14.7%	14.7%

二以硅为主(表3中点号4)。透明球粒成分稳定,以Si为主。

黑色球粒的成分特殊,它不同于海相界线粘土岩中的以Fe为主的微球粒<sup>[6]</sup>,也不同于已发现的微玻璃陨石(它们以Si为主)<sup>[17]</sup>。更难找到与之成分相配的岩浆岩。也许,它是一种特殊的微玻璃陨石,是靶区岩石和陨石混合熔融的产物。也有可能是沉积成因的,但却很难解释其雨滴状外形和非晶性质,也不含硫。透明球粒物理特征和化学成分都与普通微玻璃陨石相似,因而,推测二者的成因也是相同的。

密德剖面 and 岔河剖面界线粘土岩中碎屑物以六方双锥石英和锆石为主,只偶见有透明硅质球;哲觉剖面界线粘土岩中碎屑物则以两种球粒为主,六方双锥石英和锆石不多。说明前者火山作用沉积物占主导地位,撞击产物较少,后者则相反。

### 3 粘土岩的成因

对于华南海相二叠—三叠系界线附近的粘土岩成因,主要有5种看法:(1)风化残积物沉积;(2)撞击成因;(3)正常沉积成因;(4)火山成因;(5)火山和撞击混合成因。粘土岩的多层性、较稳定性以及二叠—三叠系界线是连续沉积的认识否定了风化成因的看法;一些粘土岩具有很多非正常沉积特征,因而粘土岩是正常沉积难以说服人。微量元素异常的研究<sup>[18]</sup>,提出有撞击作用参与,但尚未发现撞击坑,Ir异常不同检测者结果不一致,而使得撞击说法也显得证据不足。界线附近未蚀变凝灰岩的存在,粘土岩中高温石英、锆石、磷灰石、火山灰残渣的存在,以及一些火山成因的球粒的发现<sup>[6]</sup>,证明界线附近大部分粘土岩是火山沉积物蚀变形成的。那么,滇东黔西地区陆相“界线粘土岩”又是如何形成的?大

表 2 透明球粒与其他地区普通微玻璃陨石成分对比  
Table 2 Comparison of the compositions of transparent spherules and ordinary microtektite in other areas

产地	中国黄土中 <sup>[17]</sup>	澳-亚群 <sup>[17]</sup>	北美群 <sup>[11]</sup>	象牙海岸群 <sup>[17]</sup>	中国贵州三叠系粘土岩中透明球粒(本文)				
					①		②		
					76.90	70.54	79.28	81.8360	80.6536
SiO <sub>2</sub>	85.03	48.1~77.0	47.30~84.16	62.14~68.20	76.90	70.54	79.28	81.8360	80.6536
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.13	7.5~22.1	3.99~25.30	12.75~17.33	1.16	0.91	0.88	1.5874	1.0335
CaO	—	1.0~5.8	0.27~19.19	0.22~1.83	8.99	9.20	8.82	10.2536	9.6836
MgO	0.55	1.9~27.3	0.44~18.60	2.01~7.69	3.98	4.15	3.70	4.5117	4.5943
FeO	2.39	3.0~9.6	1.13~13.08	5.70~8.61	—	—	—	0.1919	0.1996
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.2~1.9	0.00~3.38	1.41~2.03	—	—	—	2.9806	4.8875
K <sub>2</sub> O	2.09	0.1~3.7	0.05~9.37	1.12~2.87	—	—	—	0.3190	0.7277
TiO <sub>2</sub>	0.44	0.1~1.0	0.13~1.44	0.45~0.39	—	—	—	0.0555	0.0187

注:①由中国地质大学测试中心电子探针定量分析;②同一球粒由中国科学院贵阳地球化学研究所电子探针定量分析。氧化物为重量百分比(%)。

表 3 钡质球粒电子探针分析(%)  
Table 3 Barium spherule electron microprobe analysis

①	点号	Si	Al	Fe	Ba	W	Bi	Pb	Au
	1	6.46	14.32	5.21	47.57	0.07	0.17	0.00	0.00
2	4.51	5.08	2.91	41.57	0.00	0.27	0.00	0.00	
3	4.47	4.98	2.99	45.53	0.05	0.77	0.00	0.04	
4	45.60	0.57	4.41	16.20	0.00	0.00	0.03	0.05	
②	点号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>
	1	6.6295	28.5211	8.3111	52.3069	0.1354	0.0000	0.6137	0.2940
	2	9.3094	28.3516	7.8545	48.8290	0.0000	0.0000	0.4118	0.2702
	3	8.2038	28.1508	7.9761	56.2660	0.2076	0.0517	0.4953	0.4366

注:①、②测试单位同表2。

量证据表明,它们是火山喷发作用和撞击作用产物混合形成。但有的粘土岩也有陆源沉积物掺入。

陆相“界线粘土岩”和宣威组煤层中的夹矸特征极相似,有非常密切的联系。因为“界线粘土岩层”往往就是离顶煤层很近的上覆岩层。陆相“界线粘土岩层”是火山成因的认识,除“界线粘土岩层”本身提供的证据外,一方面来自海相“界线粘土岩层”研究成果的启示,另一方面也得益于人们对煤层夹矸成因的解释。在此简要介绍一下后者。

研究区上二叠统宣威组多达30~60层的煤层夹矸(高岭石为主的粘土岩)成因的认识,经历了由陆源碎屑沉积、泥炭沼泽内胶体化学沉积到火山碎屑沉积物蚀变形成的认识过程<sup>[6]</sup>。20世纪50年代初,E. Stach提出煤层夹矸是由火山灰沉积形成的观点。70年代欧美各国相继在煤层夹矸中找到了多种典型的晶形完美的高温矿物<sup>[12-16]</sup>,从而使火山灰沉积改造认识更让人信服,今已占统治地位。

对于滇东黔西地区的宣威组中的煤层夹矸(粘土岩),周义平等<sup>[12-16]</sup>做了大量研究,提出大部分宣威组的煤层夹矸是火山灰沉积蚀变产物的认识。并根据其微量元素等特征作横向地层对比。该理论的主要依据是:(1)粘土岩中有高温 $\beta$ -石英、磷灰石、锆石、独居石以及高岭石化的长石假晶。(2)锆石晶体形态参数与正常沉积粘土岩明显不同(图1)。(3)微量元素含量特征也与正常沉积粘土岩差异明显,表现在:①低V,Ti,Sc,Cr,Co,Ni含量;②中—高

KEE,Nb,Ta,Hf,Zr,U,Th含量;③高Th/U比值( $>4$ );④明显的 $\delta Eu$ 负异常(一般为0.2~0.4)。

滇东黔西地区,海相地层中二叠—三叠系“界线粘土岩”的特征与煤山剖面、重庆凉风垭剖面、上寺剖面、湖北黄冈剖面相似,在此不作赘述。笔者重点研究了威宁哲觉剖面、威宁岔河剖面和宣威密德剖面的“界线粘土层”。结果发现它们兼具海相“界线粘土岩”和宣威组煤层夹矸的特征。它们主要是火山碎屑沉积改造形成的,也有撞击形成的沉积物和正常沉积物的掺入,可谓“混合成因”。陆相“界线粘土岩层”的分布也相当稳定。从海相的郎岱中寨剖面开始向西,三叠系底部普遍有两层粘土岩。陆相卡以头组底部也是这样,只是厚度较海相大,一般每层20~40 cm。这样广泛而稳定的产出状态,用事件(火山和撞击)作用物沉积形成容易解释。这些粘土岩的粘土矿物类型、含量和X衍射特征与海相“界线粘土岩”相似,只是高岭石含量较高,可能是沉积物改造环境不同所致。与宣威组煤层夹矸相比,粘土矿物特征更为接近。这也反映出它们具有成因上的相同性。

能证明其为火山成因的最令人信服的证据是,在这些粘土岩中,存在大量结晶完好、晶面平整的六方双锥石英(高温石英)、锆石、磷灰石、长石等酸性岩浆岩的副矿物组合。晶面平整光滑,说明矿物未经历严重的风化剥蚀和水流长距离搬运,与火山成因假说相吻合。

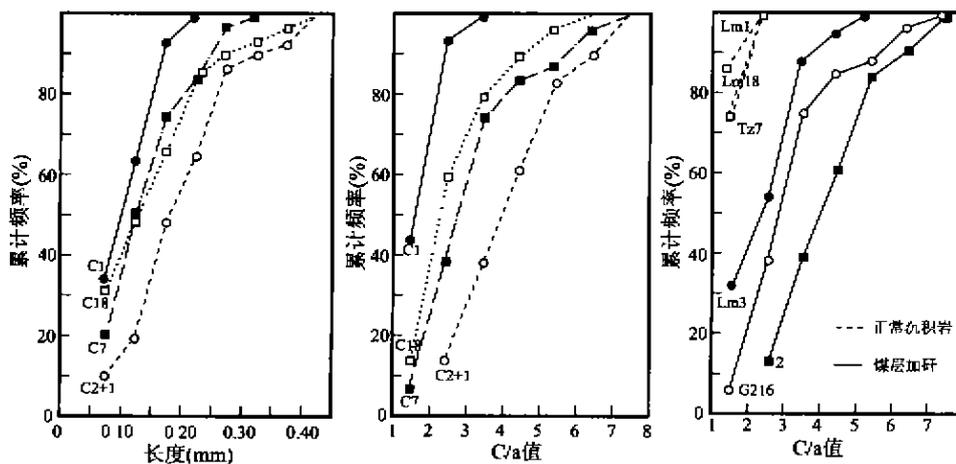


图1 滇东黔西地区宣威组中煤层夹矸和正常沉积粘土岩中锆石形态参数累积频率图(据周义平,1992)

Fig. 1 Cumulative frequency diagram of zircon morphology parameters in dirt bands of coal beds and normal sedimentary claystone in the Dingwei Formation in the eastern Yunnan-western Guizhou area (C/a值:锆石的长度/宽度)

具六方双锥晶形的 $\beta$ -石英是高温条件下形成的石英。人工硅酸盐熔体实验资料表明, $\beta$ -石英结晶温度在573~867°C之间。在缓慢冷却条件下,高温的 $\beta$ -石英可向低温的 $\alpha$ -石英转变。在快速冷却时仍保留六方双锥的晶形。因此,快速冷却的火山岩和浅成岩中常见 $\beta$ -石英。而在冷却缓慢的深成岩中, $\beta$ -石英总是转变为 $\alpha$ -石英。由此看来,粘土岩中的 $\beta$ -石英的大量出现是火山成因的最有说服力的证据。除 $\beta$ -石英外,也有较多的棱角分明的晶面较平整的石英碎屑。它们可能是较大晶体破碎后的产物,未经明显的磨蚀。有少量石英颗粒有较好的磨圆性,这可能是有陆源碎屑物掺入的原因。值得注意的是,在陆相界线粘土岩中,也或多或少存在保存精美的球粒,其特征和成因前已述及。

长石虽然不多,但确实见有。新鲜自形长石的存在,说明粘土岩未受强烈风化,又未被磨蚀,只有火山爆发产生的碎屑快速沉积才有可能。

在威宁哲觉剖面 and 岔河剖面的“界线粘土岩层”上部,往往有很多的碳屑夹层。这也可能是火山作用形成的野火,烧毁植物所留下的“痕迹”。笔者认为含碳屑的粘土岩碾细后放入水中,搅拌后水面上漂浮着一层灰色薄膜,该薄膜是燃灰。

周义平<sup>[12-16]</sup>对滇东黔西地区晚二叠世煤系地层宣威组中被认为是火山成因煤层夹矸中的锆石和正常沉积粘土岩中锆石的形态参数作了对比研究。结果表明,两种岩石中的锆石的长宽比值的分布频率累积曲线明显不同(图1)。笔者对2条陆相二叠—三叠系界线剖面中的“界线粘土岩”锆石形态也作了测量统计,结果和火山成因的煤层夹矸完全相同(图2)。由此看出,这些陆相“界线粘土层”和其下宣威组煤层夹矸有相同的成因,属火山沉积改造而成。

富源糯木剖面三叠系底部有2.1 m厚的凝灰岩,彝良洪沟剖面的下三叠统底部有3.2 m厚的凝灰质砂岩。在海相的安顺轿子山剖面“界线粘土层”之下仅43 cm就有一层厚10 cm的玻璃屑凝灰岩。这些尚未完全蚀变的凝灰岩的存在,更有力的支持滇东黔西地区二叠—三叠系“界线粘土岩”原岩是凝灰岩假说的观点。“界线粘土岩层”或凝灰岩的厚度资料给我们另一个启示,即“界线粘土岩”物源可能来源于康滇古陆上的火山喷发物。因为由西向东,界线粘土岩有由厚变薄规律。如彝良洪沟和富源糯木分别有凝灰岩或凝灰质砂岩厚3.2 m和2.1 m,威宁岔河剖面 and

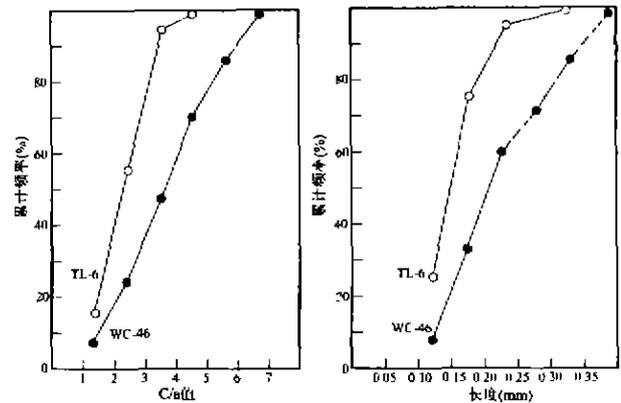


图2 岔河剖面 and 密德剖面二叠—三叠系界线粘土岩中锆石形态参数累计频率图

Fig. 2. Cumulative frequency diagrams of zircon morphology parameters in Permian-Triassic boundary claystone at the Mide section and Chahe section (C/a值: 锆石的长/宽; TL-6: 密德剖面6层; WC-46: 岔河剖面46层)

哲觉剖面分别厚20 cm和35 cm,郎岱中寨7 cm,安顺轿子山仅3 cm。

综上所述,滇东黔西地区二叠—三叠系“界线粘土岩”是火山灰沉积经成岩改造的产物。火山灰在富含有机质的酸性的泥炭沼泽介质条件下,其中的碱金属、碱土金属和一部分 $\text{SiO}_2$ 易于溶解并随溶液带出,蚀变后的残余物的 $\text{SiO}_2$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子比值也近似高岭石的理论值(2:1)或伊/蒙混层矿物的理论值,从而形成以高岭石为主的粘土矿物。这里所说的火山成因的粘土岩仅指“界线粘土岩”,即卡以头组底部的粘土岩。也有些“界线粘土岩”不全是凝灰岩改造而成,很可能原岩是沉凝灰岩或凝灰质粘土岩。因为它们除具火山成因粘土岩特征外,还往往含有磨圆较好的石英颗粒。样号PQ-4C和样号WG-56b粘土岩可能属于这种。笔者认为这些“界线粘土岩”是火山成因,同时又可能有陨星撞击的参与。沉积物能遍及整个华南甚至更大面积,这样大规模的火山活动,很可能是由陨星撞击诱发的。一些地区在二叠—三叠系“界线粘土岩”中发现Ir异常等<sup>[18]</sup>以及笔者这次工作所发现的“透明玻璃硅质球”和“黑色非晶质球”,就可能与撞击有关。二叠纪末的生物大绝灭可能也有撞击的附加作用<sup>[9]</sup>。当然,这些“界线粘土岩”有的也有陆源碎屑物的混入。也就是说,陆相二叠—三叠系“界线粘土岩”是混合成因的。即使是混合成因的,也并不代表晚二叠世—早三叠世地层中的粘

土岩层都是这样成因的。实质上,宣威组中许多粘土岩层,特别是煤层底部的灰色粘土岩层是沼泽环境中陆源碎屑沉积的粘土岩,其中可见大量植物(以草本为主)化石,所含矿物中难见酸性岩浆副矿物组合和球粒。

#### 参考文献:

- [1] 何锦文,芮琳,柴之芳,等. 浙江长兴地区二叠、三叠系之交的火山活动[J]. 地层学杂志,1987,11(3):194-199.
- [2] 张景华,张元纪,王玉琦,等. 我国南方二叠纪—三叠纪界线粘土岩的微量元素特征及其地层意义[J]. 岩石矿物及测试,1983,2(2):82-86.
- [3] 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,1987,61(3):195-204.
- [4] 徐道一,孙亦因,张勤文. 天文因素在古生物演化和绝灭中的可能作用[A]. 中国古生物学会第十三、十四届学术年会论文集[C].1986,285-294.
- [5] 李子舜,詹立培,戴进业,等. 川北陕南二叠—三叠纪生物地层及事件地层学研究[M].北京:地质出版社,1989.
- [6] 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.
- [7] 殷鸿福,黄思骥,张克信,等. 华南二叠纪—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,1989,62(2):169-181.
- [8] 黄思骥,张克信,杨世容. 中国二叠—三叠系界线地层中微球粒的发现和初步研究[A]. 湖北省矿物岩石地球化学学会论文集[C].1988
- [9] Davied L C, Wang C Y, Chartes J O, et al. Conodont survival and low Iridium abundances across the Permian-Triassic boundary in South China[J]. Science, 1986, 223: 984-986.
- [10] 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.
- [11] 王尚彦. 论卡以头组[J]. 地层学杂志,2000,25(2):129-134.
- [12] 周义平,任友琼. 滇东上二叠统宣威组煤层中某些夹矸(Tonsteins)的成因及其地质意义[J]. 云南地质,1983,2(1):38-44.
- [13] 周义平. 煤层中高岭石夹矸的成因及其在煤层对比中的作用[J]. 煤田地质与勘探,1975,4(5):31-41.
- [14] 周义平. 用TONSTEIN的锨石形态和微量元素标志厘定层位[J].煤田地质与勘探,1992,20(4):18-24.
- [15] 周义平,Burger K, 汤大忠. 滇东黔西晚二叠含煤沉积中火山灰蚀变形成的伊利石粘土岩类夹矸[J]. 沉积学报,1990,8(4):85-93.
- [16] 周义平,Burger K, 汤大忠. 中国西南地区晚二叠世含煤岩系中粘土岩夹矸(tonsteins)研究的新进展[J]. 云南地质,1988,7(3):213-228.
- [17] 欧阳自远,等. 小天体撞击与古环境灾变——新生代六次撞击事件的研究[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1996.
- [18] 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].地质论评,1991,37(1):51-63.
- [19] 王尚彦,殷鸿福. 滇黔地区二叠系—三叠系界线附近粘土岩中发现微球粒[J]. 地质论评,2001,47(4):411-414.

## Characteristics of claystone at the continental Permian-Triassic boundary in the eastern Yunnan-western Guizhou region

WANG Shang-yan<sup>1,2</sup>, YIN Hong-fu<sup>3</sup>

(1.State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;

2.Guizhou Geological Survey, Guiyang 550004, Guizhou, China

3.China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei China)

**Abstract:** There exists boundary claystone near the boundary between both the marine and terrestrial Permian and Triassic in the eastern Yunnan-western Guizhou area. This paper introduces the characteristics of the boundary terrestrial claystone in the area and discusses its origin. The principal minerals of the claystone are illite-montmorillonite mixed-layer minerals (20%-80%) and kaolinite (35%-80%), and the fragments include zircon, apatite, hexagonal dipyrarnidal high-temperature quartz and other types of quartz and microspherules. It is suggested that the terrestrial boundary claystone in the area mainly formed by volcanism, accompanied by normal deposition and influence of impact.

**Key words:** Permian-Triassic boundary; claystone; eastern Yunnan-western Guizhou