

文章编号: 100020550(2005)0120108205

# 浙江长兴煤山剖面 P/T 界线附近粘土矿物研究<sup>1</sup>

于开平<sup>1</sup> 韩广民<sup>2</sup> 杨风丽<sup>1</sup> Mansy J L<sup>3</sup> 许长海<sup>1</sup>  
周祖翼<sup>1</sup> 成鑫荣<sup>1</sup> 刘志飞<sup>1</sup> 傅强<sup>1</sup>

1 (同济大学海洋地质教育部重点实验室 上海 200092)

2 (Geological Survey of Belgium, 1000 Brussels Belgium)

3 (Laboratoire de Sedimentologie et Géodynamique UMR 8577 CNRS Université des Sciences et Technologies  
de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex France)

**摘要** 通过对浙江长兴煤山(D)剖面二叠系—三叠系(P/T)界线附近地层中的粘土矿物分析,显示粘土矿物的组合及含量的变化同粘土矿物的结晶度没有必然的联系,而同地层组段的变化相一致,粘土矿物组合的变化反映了当时的气候、物源及地理条件的变化;同时,伊利石的结晶度也不具有地层梯度的特征。但是,无论是粘土矿物组合还是伊利石结晶度,在P/T界线附近都发生了明显的变化,表明本区当时海洋酸碱度和温度的剧烈变化,这可能导致了二叠纪末期海洋生物的大规模灭绝。

**关键词** 粘土矿物 古环境 P/T界线 长兴剖面

**第一作者简介** 于开平 男 1978年出生 硕士 构造地质与盆地分析

**中图分类号** P53 P57 **文献标识码** A

2001年浙江长兴煤山剖面正式被确定为全球海相P/T界限层型剖面 and 点(GSSP),围绕该界线前人已进行了生物地层、磁性地层、层序地层和同位素测年等方面的研究<sup>[1-5]</sup>,并取得了大量的研究成果。但是,对于粘土矿物的研究前人还很少涉及。

粘土矿物的转变与温度之间的关系使得我们可以把粘土矿物作为常用的矿物地质温度计<sup>[6]</sup>,其中包括伊利石结晶度、伊蒙反应和绿泥石组成等<sup>[7]</sup>。通常认为粘土矿物的转变遵循着蒙皂石)无序伊蒙混层)有序伊蒙混层)伊利石的变化规律<sup>[8]</sup>,在转变的过程中温度、时间和钾离子的浓度起着关键作用<sup>[9]</sup>。近年来的粘土矿物研究还表明,如果粘土矿物未发生成岩变化,那么粘土矿物组合的变化与气候环境的演变存在着一定关系,粘土矿物组合的变化反映了沉积区域古环境演变的重要信息,为重建古环境提供了有力证据<sup>[10-13]</sup>。

长期以来受测试精度的限制,对粘土矿物的分析往往限于粘土矿物含量较多的碎屑岩,而我国下扬子地区在中古生界始终处于海相沉积环境,连续沉积了大量的碳酸盐岩,由于其中的粘土矿物含量较少,因

此,过去人们在进行粘土矿物分析时总是避开这些层位,本次研究中,我们利用法国里尔大学的测试条件,以浙江长兴煤山(D)剖面为对象对该剖面的P/T界线附近地层中的粘土矿物进行了分析。

## 1 地质背景及采样

煤山D剖面位于浙江省长兴县煤山镇采石场(31.1bN, 119.7bE),剖面包括晚二叠世的长兴组和早三叠世的殷坑组地层,是一个连续的海相沉积剖面。长兴组岩性主要为泥晶灰岩,殷坑组下部岩性主要为钙质泥岩,在P/T界线(煤山D剖面27c层底,即牙形石*Hindodus parvus*初现点上)附近沉积了三层粘土岩(25、26、28层,层号据文献[14])。

本次在长兴煤山D剖面P<sub>2</sub>上至T<sub>1</sub>的地层范围内共采集样品20个,其中,长兴组采样4个;殷坑组下部采样16个,样品岩性有石灰岩、泥岩、粘土岩等,其中以石灰岩为主。此外,为了加强界线处的研究,在P/T界线附近(25~28层)进行了加密采样(见表1)。

<sup>1</sup> 教育部跨世纪优秀人才培养计划;国家自然科学基金(批准号:40321603);国家重点基础研究发展规划项目(批准号:G200078500)联合资助  
1 收稿日期:2004203209 收修修改稿日期:2004208201

表 1 长兴煤山 P/T 剖面 (D) 粘土矿物测试数据 (单位: %)

Table 1 The composition of clay minerals in Meishan Profile

编号	IC	II	Ch	Ka	Sm	I-S	Goe	Qua	层号	岩性
bd86g	0.76	88	o	12	o	o	p	p	19	泥晶灰岩
bd99g	0.76	98	p	o	o	o	o	p	21	泥晶灰岩
bd101g		96	o	o	p	o	o	p	22	泥晶灰岩
bd106g	0.81	96	p	p	p	o	p	p	23	泥晶灰岩
bd124g		57	p	11	o	30	p	p	25a	白粘土
bd125g	0.62	40	5	20	o	35	p	o	25b	白粘土
bd127g	0.64	92	p	5	o	o	p	p	26a	黑粘土
bd126g	0.66	81	6	13	o	o	o	p	26b	黑粘土
bd128g	0.56	85	7	5	p	o	p	p	27ab	石灰岩
bd129g	0.47	87	7	5	p	o	p	p	27cd	石灰岩
bd129 <sup>+</sup> g	0.62	72	p	5	o	20	o	o	28	火山灰
bd131g	0.61	88	7	p	p	o	p	p	29	泥晶灰岩
bd134g	0.57	72	13	13	p	o	p	p	30	泥灰岩
bd139g	0.74	84	7	5	p	o	p	p	30	泥灰岩
bd142g	0.51	72	17	6	5	o	p	p	32	钙质泥岩
bd145g	0.4	72	17	6	5	o	o	o	32	钙质泥岩
bd146g	0.37	81	p	13	p	o	p	p	34a	钙质泥岩
bd147g	0.45	73	16	6	5	o	p	p	34b	钙质泥岩
bd148g	0.49	71	18	6	5	o	p	p	34b	钙质泥岩
bd149g	0.3	72	p	13	11	o	p	p	34c	钙质泥岩

IC 伊利石结晶度, II 伊利石, Ch 绿泥石, Ka 高岭石, Sm 蒙脱石, I-S 伊利石) 蒙皂石混层, o- p 缺失) 出现 (< 3%)

## 2 样品的处理与测试

样品粉碎工作在比利时布鲁塞尔自由大学联合地质实验室完成, 然后的处理及 XRD 测试在法国里尔大学粘土实验室进行。

每个样品, 经二次粉碎, 去钙, 反复冲洗后, 用沉降法提取 < 2 Lm 粘土颗粒制成两个定向片。再分别经乙醇、自然干燥及加热处理。X 射线衍射仪对每个样品, 输出三条用于鉴定的曲线。

粘土矿物的相对含量主要使用 (001) 晶面衍射峰的面积比, 蒙脱石 (含伊利石) 蒙脱石随机混层矿物) 采用 1.7nm (001) 晶面, 伊利石采用其 1 nm (001) 晶面, 高岭石 (001) 和绿泥石 (002) 使用 0.7nm 叠加峰<sup>[15]</sup>, 它们的相对比例通过拟合 0.357 nm / 10.354 nm 峰面积比确定 (如图 1)。

伊利石结晶度测定于乙醇化曲线上它的 001 反射的半高宽, 并使用以前建立  $y = (1.314x - 0.25) / 0.58$  公式, 将所有测定值校正为国际结晶度系数标准值 (CIS)。

## 3 结果分析与讨论

### 3.1 粘土矿物的含量及组合

浙江煤山 (D) 剖面 P<sub>2</sub> 上至 T<sub>1</sub> 地层内所含的粘

土粒级矿物主要由伊利石、绿泥石、高岭石、蒙脱石、伊 / 蒙混层及少量针铁矿、石英组成, 其中, 粘土矿物相对含量变化中, 以伊利石为主, 平均达 78.8%; 其次为高岭石, 平均达 7.2%; 绿泥石、蒙皂石含量相对较低, 分别为 0% 和 1.6%。伊 / 蒙混层矿物只在 3 个样品 (bd124, bd125, bd129<sup>+</sup>) 中出现, 但所占比率均较大。此外, 针铁矿和石英的含量均小于 3%。

25 层和 26 层为 P/T 界粘土层, 25 层俗称 / 白粘土 0, 此层是公认的地球化学事件层, 26 层俗称 / 黑粘土 0, 这两层粘土前人研究均认为是中) 酸性火山灰经海底蚀变而成的伊利石 / 蒙脱石混层粘土<sup>[16]</sup>。而我们经过测试只在 25a 和 25b 层所采的两个样品中的伊 / 蒙混层矿物含量较高分别达到了 30% 和 33%, 同时这两层的高岭石的含量也较高, 分别达到了 11% 和 20%, 而 26 层几乎不含伊 / 蒙混层矿物, 主要为伊利石, 在 26a 和 26b 所采两个样品的伊利石含量分别为 92% 和 81%, 同时高岭石含量较低。

在酸性的介质中, 高岭石可以保持稳定, 即使温度升高, 压力增大, 也不会向蒙脱石、伊利石转化, 若 pH 值增大从酸性介质到碱性介质, 高岭石的稳定性会减小。由 25 层中较高的高岭石含量可以推测 25 层沉积当时本区处于较强的酸性环境。梁汉东对 25 层 / 白粘土 0 的研究也表明: / 白粘土 0 具有显著的酸

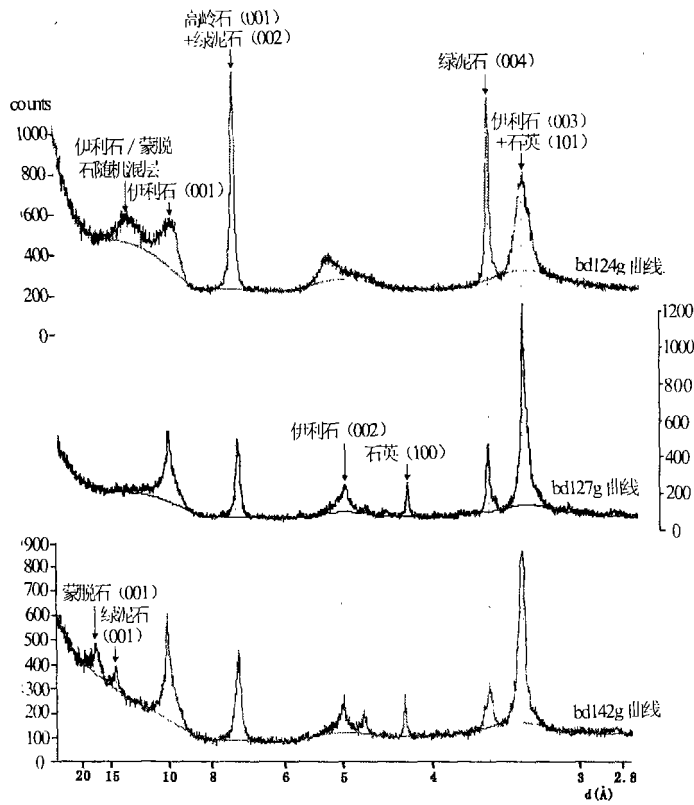


图 1 典型样品的 X射线衍射谱

Fig 1 Typical curves of X-ray powder diffraction pattern

性;白粘土中富有溶于水的酸性物质,校正酸度达到 pH 0.8~1.32。且白粘土中的酸性物质可能是 P/T 转折期海洋酸化的残留物<sup>[17]</sup>。而 26 层富含有机质,色暗并具有水平纹层,推测当时的水流不畅,同时当时的气温较高<sup>[14]</sup>,在封闭高温条件下的水介质常为碱性水介质,如果是富钾的水介质蒙脱石则会转化为伊利石。这就解释了为什么黑白两层粘土同是火山灰蚀变的产物但粘土矿物成分却不同,同时说明在这样短暂的时间内海洋环境酸碱度也发生了大幅度的变化。

通常认为粘土矿物会随着埋深的增加而发生转化作用,浅部以高岭石和蒙脱石为主,深部主要为伊利石和绿泥石,但是通过分析本次所采样品的粘土矿物组合的变化情况发现无论是上部的泥岩还是下部的灰岩都不存在这样的变化规律,但是,粘土矿物的分布变化却同地层组段的变化相一致(如图 2)。这表明本区 P<sub>2</sub> 至上 T<sub>1</sub> 粘土矿物的组合与含量的变化更多的取决于沉积因素,即与沉积当时的物源、气候及地理条件有关,而很少受到后期成岩变化作用的影响。

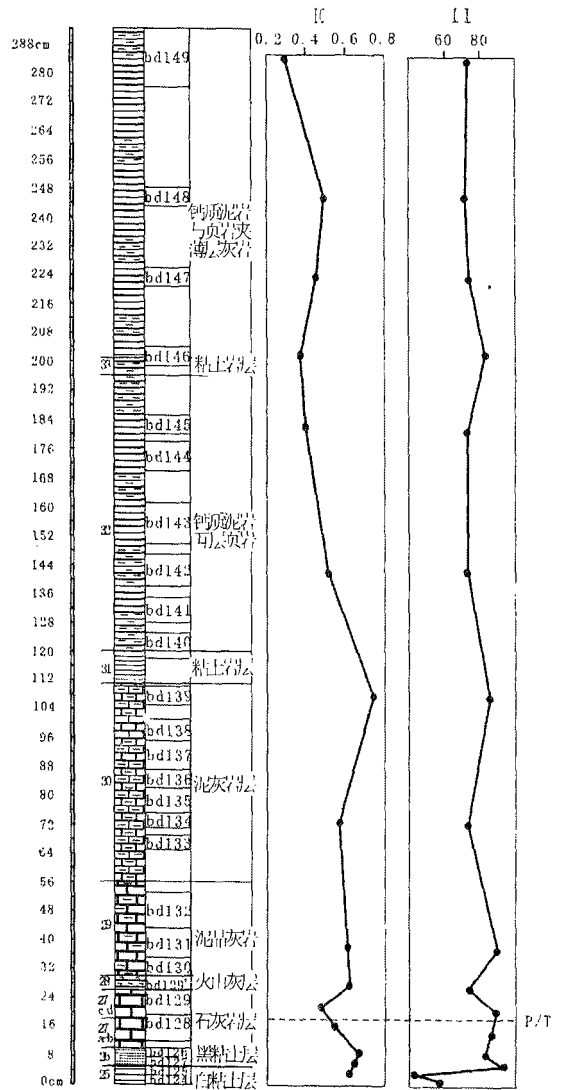


图 2 粘土矿物组份变化图(层号据文献 [14])

Fig 2 The composition of clay minerals

### 3.2 伊利石结晶度

结晶度通常指某一物质内所含晶体的总量, Kbler (1967) 曾将结晶度定义为结晶物质晶格内部的有序程度,伊利石的结晶度高,一般指它的结晶程度好,有序度高,反之亦然。结晶度一般与温度、深度、时间及沉积介质等因素有关。考虑到岩性对 IC 的影响,可以把 IC 的分析分成两部分来进行(31 层为界)。19~31 层主要为灰岩,结晶度变化范围不大,基本在 0.6~0.75 之间,平均为 0.65。31~34 层主要为钙质泥岩,结晶度变化范围为在 0.45~0.55 之间,平均为 0.46。从图 3 可以看出无论是上部的泥岩还是下部的灰岩,IC 值的变化都不具有明显的规律性,即地层越老,IC 值越

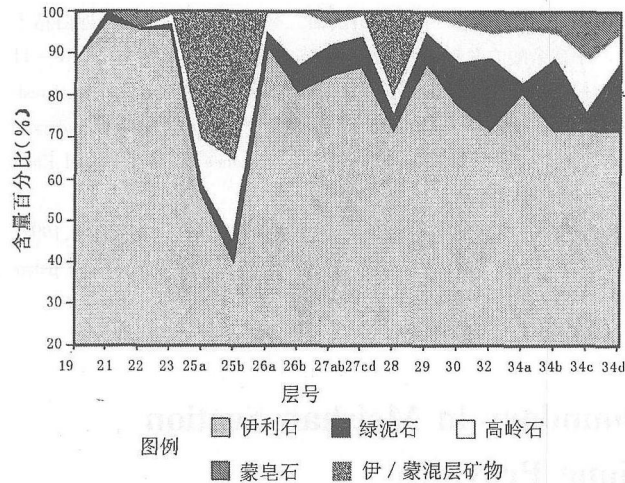


图 3 伊利石结晶度及伊利石含量变化曲线

Fig 3 Illite crystallinity and contents of illite

小,相反,随地层时代的变老,泥岩的结晶度反而变差。这表明沉积埋藏热不是影响这一地区 IC 值的主要原因。此外,在 27 层所采的两个样品 bd128g 和 bd129g 的 IC 值明显偏低,只有  $0.56^{\circ}2H$  和  $0.47^{\circ}2H$ 。由于伊利石结晶度的变化同时也反映了古环境的变化,即结晶度高反映了干燥寒冷的气候而结晶度低则代表了温暖潮湿的气候<sup>[18]</sup>,由 27 层较高的伊利石结晶度可以推测 27c 层沉积当时本区的干燥寒冷的气候环境。我们在本剖面所采样品的  $D^{18}O$  同位素分析也表明在 27 层  $D^{18}O$  有明显的正漂移现象,幅度达 20%,表明了这一时期温度的剧烈升降变化。

## 4 结论

(1) 在海相碳酸盐岩广泛分布的下扬子地区,我们可以利用现代先进的测试仪器进行粘土矿物的分析和研究。

(2) 通过对浙江长兴煤山 (D) 剖面的  $P_2$  上至  $T_1$  粘土矿物分析表明,  $P_2$  上至  $T_1$  粘土矿物的分布变化同地层组段的变化相一致,反映了当时气候、物源及地理条件的变化。

(3) 粘土矿物的组合、含量和结晶度的变化反映了 P/T 界线附近海洋酸碱度和温度的强烈变化,这种变化可能导致了二叠纪末期海洋生物的大规模灭绝。

## 参考文献 (References)

1 董金南, 杨英. 浙江长兴煤山二叠系) 三叠系界线剖面牙形石研究

- 进展. 科学通报, 1997, 42 (2): 2571 ~ 2573 [Tong Jinnan, Yang Ying. Advance of the studies on conodont of Permian-Triassic boundary Meishan, Changxin, Zhejiang Province. Chinese Science Bulletin, 1997, 42 (2): 2571~ 2573]
- 2 李华梅, 王俊达. 浙江长兴煤山二叠) 三叠系界线剖面磁性地层特征. 中国科学, 1989, B(6): 652~ 658 [Li Hua mei, Wang Junda. Magnetostratigraphic characters of the Permian-Triassic boundary section at Changxin, Zhejiang Province, Meishan. Science in China, 1989, B (6): 652~ 658]
- 3 刘育燕, 朱艳明, 田五红. 浙江长兴煤山剖面磁性地层学新研究. 地球科学, 1999, 24 (2): 151~ 154 [Liu Yuyan, Zhu Yanming, Tian Wuhong. New magnetostratigraphic results from Meishan Section, Changxin Country, Zhejiang Province. Earth Science, 1999, 24 (2): 151~ 154]
- 4 张克信, 董金南, 殷鸿福, 等. 浙江长兴二叠系) 三叠系界线剖面层序地层研究. 地质学报, 1996, 70 (3): 270~ 281 [Zhang Kexin, Tong Jinnan, Yin Hongfu, et al. Sequence stratigraphy of the Permian-Triassic boundary section of Changxin, Zhejiang. Acta Geologica Sinica, 1996, 70 (3): 270~ 281]
- 5 张自超, Clau Long JC, 马国干, 等. 浙江长兴煤山剖面二叠系) 三叠系界线年龄测定. 地质论评, 1992, 38 (4): 372~ 381 [Zhang Zichao, Clau Long JC, Ma Guogan, et al. Age determination of the Permian-Triassic boundary at Meishan, Changxin, Zhejiang Province. Geological Review, 1992, 38 (4): 372~ 381]
- 6 Richard M P. Consideration and applications of the illite/smectite geothermometer in Mississippian age. Clay and Clay Minerals, 1993, 41 (2): 119~ 133
- 7 Essene E J, Peacor DR. Clay mineral thermometry: a critical perspective. Clay and Clay Minerals, 1995, 40 (5): 540~ 553
- 8 Bruno L, Gard B. Characterization of the end of smectite to illite transformation: decomposition of X-ray patterns. Clay and Clay Minerals, 1992, 40 (1): 40~ 52
- 9 Wu LH, John ML, David RP. An experimentally derived kinetic model for smectite to illite conversion and its use as a geothermometer. Clay and Clay Minerals, 1993, 40 (2): 162~ 177
- 10 陈忠, 颜文. 海洋沉积粘土矿物与古气候、古环境演化响应的研究进展. 海洋科学, 2000, 24 (2): 25~ 27 [Chen Zhong, Yan Wen. Advances of the studies on clay minerals in marine sediments and its response to evolution of paleoclimate and paleoenvironment. Marine Science, 2000, 24 (2): 25~ 27]
- 11 蓝先洪. 海洋沉积物中粘土矿物组合特征的古环境意义. 海洋地质动态, 2001, 17 (1): 5~ 7 [Lan Xianhong. Paleoenvironment significance of clay minerals in marine sediments. Marine Geology Letters, 2001, 17 (1): 5~ 7]
- 12 Valter B, Alessandra P, Pietro M, et al. Influence of climate on the iron oxide mineralogy of Terra Rossa. Clay and Clay Minerals, 1992, 40 (1): 8~ 13
- 13 汤艳杰, 贾建页, 谢先德. 粘土矿物的环境意义. 地学前缘, 2002, 9 (2): 337~ 344 [Tang Yanjie, Jia Jianye, Xie Xiande. Environment significance of clay minerals. Earth Science Frontiers, 2002, 9 (2): 337~ 344]

- 14 殷鸿福, 杨遵仪, 吴顺宝, 等. 全球二叠-三叠系界线层型研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1986 [Yin Hongfu, Yang Zunyi, Wu Shunbao et al. Study on Global Permian-Triassic Boundary Stratigraphic Unit. Wuhan: China University of Geosciences House, 1986]
- 15 Holzapfel T. Les Minéraux Argileux. Préparation, Analyse Diffractionnelle et Détermination. Soc. Géol. Nord Publ. 12, 1985, 1~136
- 16 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. 地质学报, 1989, 63(2): 169~181 [Yin Hongfu, Huang Siji, Zhang Kexin et al. Volcanism at the Permian-Triassic boundary in South China and its effects on mass extinction. Acta Geologica Sinica, 1989, 63(2): 169~181]
- 17 梁汉东, 梁言慈. 中国煤山剖面二叠系/三叠系界线附近白粘土中残余酸的发现与意义. 科学技术与工程, 2004, 4(1): 7~11 [Liang Handong, Liang Yanci. Observation and determination of residual acid trapped in the white clay near Permian-Triassic boundary of the Meishan Section in South China. Science Technology and Engineering, 2004, 4(1): 7~11]
- 18 鲁春霞. 粘土矿物在古环境研究中的指示作用. 中国沙漠, 1997, 17(4): 456~460 [Lu Chunxia. Clay minerals as indicators of paleoenvironment. Journal of Desert Research, 1997, 17(4): 456~460]

## Study on Clay Minerals of P/T Boundary in Meishan Section, Changxin, Zhejiang Province

YU Kai ping<sup>1</sup> HAN Guangmin<sup>2</sup> YANG Fengli<sup>1</sup> Mansy JL<sup>3</sup>  
XU Changhai<sup>1</sup> ZHOU Zuyi<sup>1</sup> CHENG Xinrong<sup>1</sup> LU Zhifei<sup>1</sup> FU Qiang<sup>1</sup>

1 (Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, 200092)

2 (Geological Society of Belgium, 1000 Brussels, Belgium)

3 (Laboratoire de Sedimentologie et Géodynamique, UMR 8577 CNRS, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France)

**Abstract** By analyzing the clay minerals of P/T boundary in Meishan Section show that the paragenetic association has no relationship to crystallization, but coincides with the change of formations and members, which reflect the change of climate, source and geography. IC has no notable regular variation, otherwise, no matter the paragenetic association or IC have changed evidently, indicate that pH and temperature have changed acutely, which may result in the mass extinction of the Permian marine invertebrates at the end of Permian.

**Key words** clay minerals, paleoenvironment, P/T boundary, Changxin Section