

浙江煤山二叠系—三叠系界线附近黄铁矿 及其硫同位素组成研究

姜尧发^{1,2)}, 唐跃刚¹⁾, 代世峰¹⁾, 邹星³⁾, 钱汉东⁴⁾, 周国庆²⁾

1) 中国矿业大学北京校区, 100083; 2) 徐州建筑职业技术学院, 221008

3) 国土资源部国际科技合作司, 北京, 100812; 4) 南京大学地球科学系, 210093

内容提要: 运用地质学、矿物学、岩石学和地球化学等理论和方法, 系统地研究了中国浙江长兴煤山二叠系—三叠系(P/T)界线附近黄铁矿的含量变化、矿物学特征、硫同位素组成及其垂向变化规律等, 指出P/T界线附近黄铁矿高含量层位的成因与火山作用有关。研究发现, 在浙江煤山长兴组顶部, 紧靠P/T界线的第24e₂分层石灰岩中, 黄铁矿骤然增多, 含量高达1.84%, 比远离P/T界线的第22至24d分层石灰岩中的黄铁矿含量高出90多倍; 硫同位素组成发生突变, $\delta^{34}\text{S}$ 值陡然上升为+2.2‰; 其特征与火山气体总硫的同位素组成平均值极为相似, 而与细菌还原黄铁矿的硫同位素组成完全不同。而且, 在第24e₂分层黄铁矿高含量层位中, 还共生有较多 β -石英等火山碎屑物质; 岩石和黄铁矿中微量元素含量异常富集。因此认为, 陆地和海底火山活动曾喷出大量的富含H₂S的气体, 造成古海洋局部最上层海水中富集大量硫化氢, 为形成黄铁矿创造了条件。二叠纪、三叠纪之交, 强烈的火山作用, 使海洋生存环境急剧恶化, 是造成海洋生物相继灭绝的主要原因。

关键词: 黄铁矿; 硫同位素组成; 二叠系—三叠系界线; 火山作用; 浙江煤山

中国的二叠系分布广泛, 发育良好, 尤其中国南部(华南)海相二叠纪地层发育完整、地层层序清楚、生物群丰富多彩, 在世界上其他地区少见。因此, 国际地质科学联合会于2001年3月, 将中国浙江长兴煤山二叠系—三叠系(P/T)界线地层剖面, 确定为全球二叠系—三叠系界线层型剖面。

关于二叠系与三叠系的接触关系, 过去一直认为是整合或假整合接触。上个世纪70年代开始, 科学家们注意到在二叠系—三叠系界线附近生物群有明显的更新, P/T界线之上的动物群出现了全新面貌。因此推论, 在上二叠统与三叠系之间存在着沉积间断。根据国际上已发表的古生物资料统计计算, 科学家们发现二叠纪末有50%左右的科级生物灭绝、90%左右的种级生物消失(Jablonski, 1994)。随后, 人们用“大灭绝”或“集群绝灭”(mass extinction or major extinction)等术语来形容二叠纪、三叠纪之交的生物消亡现象。

为了探讨二叠纪—三叠纪之交生物大灭绝地质事件的成因, 人们在浙江长兴煤山剖面及华南其他剖面二叠系—三叠系界线附近, 开展了大量研究工

作。提出P/T之交生物大灭绝与火山活动(何锦文等, 1987; 殷鸿福等, 1989; 吴顺宝等, 1990)、地外星体撞击(Xu et al., 1985; 周瑶琪等, 1986; Kaiho et al., 2001)、海平面升降和缺氧(Hotinski et al., 2001; 李玉成等, 2002; Huey et al., 2005)、海洋水体被硫化氢毒化(梁汉东, 2002; Grice et al., 2005)等作用有关。但目前仍没有确定性结论。

浙江煤山二叠系—三叠系界线附近岩石中普遍含有黄铁矿, 且越紧靠P/T界线黄铁矿含量越高。然而, 对黄铁矿的富集和硫同位素组成的剧变与P/T之交生物大灭绝地质事件有什么关联这一问题, 前人未做系统的研究。本文将深入研究浙江煤山二叠系、三叠系界线附近黄铁矿的含量分布、矿物学特征、硫同位素组成等, 探讨其与地质事件的关系; 通过研究发现浙江煤山第24e₂分层中黄铁矿的大量出现与二叠纪、三叠纪之交的火山作用密切相关。

1 采样及试验方法

本文研究的样品采自浙江长兴煤山二叠系—三叠系全球界线层型剖面(B剖面), 从长兴组顶部至

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40133010)和教育部高等学校博士学科点科研基金项目(编号 20030290002)资助成果。

收稿日期: 2006-03-09; 改回日期: 2006-06-01; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 姜尧发, 男, 1955年生。博士研究生, 徐州建筑职业技术学院教授级高级工程师。现在美国 Indiana 大学作访问学者。Email: jiangyaofa-xz@163.com。

殷坑组底部(第 22 至第 37 分层),分别在 50 个点采样。剖面分层描述参照全球二叠系—三叠系界线层型剖面界线层多重地层划分对比方案和曹长群等的岩石地层划分描述体系(曹长群等,2002)。即第 25 分层界线粘土岩底界以下为晚二叠世长兴组,第 25 分层粘土岩底界以上为早三叠世殷坑组。

黄铁矿单矿物的分离采用酸溶、重砂淘洗二种方法进行。对界线粘土岩和其他泥岩样品直接浸泡、淘洗。对石灰岩和泥灰岩样品破碎至 5 mm 后,先用醋酸、盐酸溶解,去碳酸钙,然后对酸不溶物进行淘洗。黄铁矿单矿物的挑选和鉴定,分别用体视显微镜、偏光反光显微镜、带能谱扫描电镜、X 射线衍射等进行。

硫同位素测定,在国土资源部同位素实验室利用化学方法进行。利用 Cu_2O 作为氧化剂,将黄铁矿在真空高温(980℃)条件下直接氧化,以制备纯净的 SO_2 气体试样,进行质谱分析。测试结果用 GBW-4414 ($\delta^{34}\text{S} = -0.07\text{‰}$) 和 GBW-4415 ($\delta^{34}\text{S} = +22.15\text{‰}$) 标准值计算,用相对于国际硫同位素标准($\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}, \text{‰}$)的形式表示。

2 黄铁矿及硫同位素组成的层域分布

2.1 黄铁矿含量及分布特征

浙江煤山二叠系—三叠系界线附近岩石中黄铁矿的含量差别很大。由表 1 可见,从第 22 至 24d 分层石灰岩中,黄铁矿很少,含量都 $<0.1\%$;而紧靠界线的第 24e₂、24f 分层石灰岩中黄铁矿突然增多,在第 24e₂ 分层中,黄铁矿含量高达 1.84%,在第 24f 分层中,黄铁矿含量 0.43%。第 25 至 32 分层,黄铁矿含量 0.11%~0.37%;第 34 至 37 分层,黄铁矿含量 $<0.1\%$ 。显示出,紧靠界线的岩层中黄铁矿含量高,远离界线的岩层中黄铁矿含量低的分布特征。

2.2 黄铁矿的矿物学特征

浙江煤山 P/T 界线之下的第 24e₂ 分层是黄铁矿高含量层位,岩石类型为微晶灰岩,方解石含量 $>95\%$ 。该分层从下向上,黄铁矿含量逐渐增多、黄铁矿晶体逐渐变粗,至顶部黄铁矿密集分布(图版 I-1)。镜下观察,黄铁矿粒径 0.2~0.5 mm,自形程度很高,但与黄铁矿的典型形态不同,第 24e₂ 分层中的黄铁矿以歪晶为主,立方体沿某一方向延长(图版 I-2),五角十二面体呈连生体产出(图版 I-3)。这种歪晶黄铁矿与某些岩浆热液交代金矿床中的黄铁矿形态相似(陈光远等,1987)。

X 射线粉末衍射测定,第 24e₂ 分层中黄铁矿的

表 1 黄铁矿含量及硫同位素组成
Table 1 Content of pyrites and sulfur isotopic composition near the PTB in Meishan

地层 (组)	地层 (层)	厚度 (cm)	分离出 黄铁矿(g)	黄铁矿占全岩 百分比(%)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ (‰)
殷坑组	37		0.36	0.06	-5.2
	34e	18	0.49	0.06	-28.2
	32b	10	4.86	0.37	-38.7
	29b	5	1.16	0.11	-41.4
	27ab	9.5	2.81	0.28	-28.5
	25	6	1.37	0.20	-13.0
长兴组	24f	2	3.96	0.43	-2.0
	24e ₂	5	18.23	1.84	2.2
	24d	11	0.83	0.07	-11.6
	24c	20	0.13	0.02	-16.5
	24b	16	0.13	0.02	-20.3
P ₂ c	23c	17	0.25	0.02	-14.0
	22		0.18	0.02	-12.0

最强衍射峰 2.707(相对强度为 100%),次强衍射峰 1.633(相对强度 63%),其余衍射峰 2.423, 1.915, 2.211, 3.127, 1.448, 1.502, 1.211, 1.564, 1.105 等。微区成分测定,第 24e₂ 分层石灰岩中黄铁矿(五角十二面体)的主元素含量:S=55.92%, Fe=43.37%;S 与 Fe 原子数比 2.25,显示富硫特征。

第 24f 分层,与界线粘土岩直接接触,黄铁矿(立方体、五角十二面体及其聚形)的晶棱、晶面呈弧形状态(图版 I-4)。

X 射线粉末衍射测定,第 24f 分层中黄铁矿的最强衍射峰 2.709(相对强度 100%),次强衍射峰 1.633(相对强度 69%),其余衍射峰 2.423, 1.916, 2.212, 3.127, 1.448, 1.503, 1.211, 1.182, 1.106 等。微区成分测定,黄铁矿(五角十二面体)的主元素含量:S=55.25%, Fe=44.75%;S 与 Fe 原子数比 2.15,也显著富硫。

在界线粘土岩(第 25 分层)中,黄铁矿以立方体单形为主,常聚集成球状微粒集合体状(图版 I-5)。微区成分测定,黄铁矿的主元素含量:S=66.05%, Fe=32.83%;S 与 Fe 原子数比 2.01。

第 27 分层,含粉砂泥质微晶灰岩,其底部包裹有许多黑色泥质“角砾、团块或内碎屑”,大小为 1~2 cm,这些泥质“角砾”之间散布许多黄铁矿,自形程度较高(图版 I-6)。微区成分测定,黄铁矿的主元素含量:S=68.30%, Fe=31.70%;S 与 Fe 原子数比 2.15。X 射线粉末衍射测定,最强衍射峰 2.709,次强衍射峰 1.633。

第 29 分层,含泥砂微晶灰岩,黄铁矿呈八面体、

立方体及聚形(图版 1-7),其主元素含量: $S=67.67\%$, $Fe=32.33\%$; S 与 Fe 原子数比 2.09。X 射线粉末衍射测定,最强衍射峰 2.693(相对强度 100%),次强衍射峰 3.343(相对强度 88%),出现了 $d=3.433, 2.711, 2.693, 2.316, 1.691, 1.595, 1.436$ 等属于白铁矿的衍射峰,表明黄铁矿中混有白铁矿。

第 32 分层(泥质微晶灰岩)中的黄铁矿呈板状、矛状等异常晶体形态,与正常的黄铁矿差别很大(图版 1-8)。其主元素含量: $S=67.58\%$, $Fe=32.42\%$; S 与 Fe 原子数比 2.08。X 射线粉末衍射测定,最强衍射峰 2.693(相对强度 99%),其他衍射峰的相对强度都 $<30\%$ 。总体上,黄铁矿的衍射峰较弱,白铁矿的衍射峰较强。黄铁矿已向白铁矿转变。

2.3 硫同位素组成及其垂向演化

由表 1 可见,浙江煤山 P/T 界线附近黄铁矿的硫同位素组成变化很大。 $\delta^{34}S$ 值 -41.4% 至 $+2.2\%$,其变化范围达 43.6% 。重同位素 ^{34}S 最富集($\delta^{34}S=+2.2\%$)的层位,是二叠系长兴组顶部的第 24e₂ 分层,也是黄铁矿含量最高的层位;而轻同位素 ^{32}S 最富集($\delta^{34}S=-41.4\%$)的层位是三叠系殷坑组底部的第 29b 分层。

根据 13 个黄铁矿样品 $\delta^{34}S$ 值绘制的浙江煤山 P/T 界线附近硫同位素组成变化曲线(图 1)显示:

曲线最下端(第 22 分层)石灰岩中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值 -12% ,从第 22 分层→第 23 分层→第 24b 分层,黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值从 -12% → -14% → -20.3% ,呈缓慢降低趋势;然后从第 24b 分层→第 24c 分层→第 24d 分层,黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值从 -20.3% → -16.5% → -11.6% ,又缓慢上升,这 2 m 多厚石灰岩中黄铁矿的含量 $0.02\%\sim 0.07\%$, $\delta^{34}S$ 值 -11.6% 至 -20.3% ,比较稳定。

第 24e₂ 分层,厚 5 cm,距离 P/T 界线只有 2 cm,黄铁矿含量剧增为 1.84% , $\delta^{34}S$ 值陡然上升为 $+2.2\%$ 。第 24f 分层,厚度 2 cm,与界线粘土岩直接接触,黄铁矿含量 0.43% , $\delta^{34}S$ 值为 -2.0% 。

显而易见,在第 24e₂、24f 分层石灰岩中,黄铁矿含量剧增, $\delta^{34}S$ 值陡然上升,反映当时海水中硫的含量以及硫的轻、重同位素比例,都发生了急剧变化或跳跃,表明曾有过大量外来的 H_2S 注入。

从第 27 分层→第 29 分层→第 32 分层→第 34 分层,黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值从 -28.5% → -41.4% → -38.7% → -28.2% ,显示出硫以负同位素为主的特征。

3 黄铁矿成因分析

研究结果显示,浙江煤山 P/T 界线附近地层中的黄铁矿,至少有两种成因类型。

3.1 生物成因黄铁矿

硫酸盐的细菌还原是自然界中最重要的硫同位素分馏过程。在温度 $<50^\circ C$ 的条件下,细菌将硫酸盐(SO_4^{2-})摄入体内,经过复杂的有机化学作用过程,最后细菌将还原生成的硫化氢(H_2S)排出体外,这种循环过程造成自然界中 ^{34}S 与 ^{32}S 的明显分离。在深海或静海环境,细菌还原形成的硫化氢的 $\delta^{34}S$ 值比海水硫酸盐的 $\delta^{34}S$ 值低 $40\%\sim 60\%$ 。理论上认为,自然界硫酸盐的无机还原需要在 $250^\circ C$ 以上才能进行。

细菌还原形成的 H_2S 与海水中的金属离子结合形成硫化物,与铁离子结合形成的黄铁矿,即称为生物成因黄铁矿。

现代海洋溶解硫酸盐的 $\delta^{34}S$ 值,非常稳定,约 $+20\%$ 。实验表明,在深海、静海环境,细菌还原形成的 H_2S 和硫化物的 $\delta^{34}S$ 值 $-40\%\rightarrow -19\%$;浅海环境,细菌还原形成的 H_2S 和硫化物的 $\delta^{34}S$ 值以 -5% 为主(郑永飞等,2000)。

地质历史中,细菌还原成因黄铁矿及其他金属硫化物的 $\delta^{34}S$ 值与实验数据吻合。例如,德国 Sangerhausen 盆地埋深 650 多米的二叠系 Zechstein 石灰岩中细菌还原成因黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值为 $-44.7\%\rightarrow -42.4\%$,其他碳酸盐岩中细菌还原成因黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值分布范围为 $-40\%\rightarrow -28\%$ (Bechtel et al., 2001)。

浙江煤山 P/T 界线附近绝大多数分层中黄铁矿的硫同位素组成为负值, $\delta^{34}S$ 值变化范围从 -41.4% 至 -5.2% ,显示出生物成因的特征。

从第 22→23→24b→24c→24d 分层,黄铁矿的硫同位素组成($\delta^{34}S$ 值)变化不大,黄铁矿含量基本恒定,反映了在开放体系中,细菌还原形成硫化氢及黄铁矿的速率和产率稳定。

从第 27→29→32→34 分层,黄铁矿的硫同位素组成变化很大,反映了海洋环境发生变迁,细菌还原形成硫化氢及黄铁矿的速率不稳定的特征。

3.2 火山硫源黄铁矿

浙江煤山长兴组顶部第 24e₂ 分层石灰岩中黄铁矿含量剧增为 1.84% 。海水中如此大量的 H_2S 从何而来?

正常海水中硫酸根(SO_4)的含量很低,其浓度

只有 2.709‰(赵其渊等,1989),即使大量细菌、快速生产,将海水中的硫酸盐全部还原,也很难使海水

中 H_2S 的浓度显著剧增,形成那么多的黄铁矿。

很显然,长兴组第 24e₂ 层中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值陡然上升至 +2.2‰是异常的。海水中如此大量的富重硫同位素(^{34}S)的 H_2S 并非海水自身所有。

研究资料表明,海底火山活动常喷出大量的挥发性气体,将大量 SO_2 和 H_2S 射入海水, SO_2 迅速溶解,而 H_2S 则富集在海水中。除大量的挥发性气体外,海底火山还喷出或分解出相当数量的 Fe, Al, K, Na 和许多微量元素(中国科学院地球化学研究所,1981)。火山气体总硫的 $\delta^{34}S$ 平均值 +2.2‰±0.3‰(魏菊英等,1988)。

笔者研究发现,浙江煤山长兴组第 24e₂ 分层石灰岩和第 24f 分层含泥灰岩中,含有较多高温 β -石英和硅质球粒、硅质圆柱体等火山碎屑物质。而且,第 24e₂、24f 这 2 个分层中,微量元素总量陡然升高,如从第 23a→23c→23g→24a→24b→24c→24d 这 7 个连续分层中,微量元素总量($\mu g/g$)从 1312.76→1221.63→936.38→920.44→1104.9→1179.79→1045.34,基本上变化不大;而从第 24e₂→24f 分层,微量元素总量陡然升高到 2840.73→3761.21 $\mu g/g$,且显著增高的元素是铁族元素、亲硫元素、稀土元素等,反映介质成分发生了突变。

浙江煤山长兴组第 24e₂、24f 分层石灰岩中,黄铁矿含量剧增;黄铁矿晶形异常;黄铁矿的硫同位素组成($\delta^{34}S$ 值)陡然上升,与火山气体总硫同位素组成平均值极为相似;黄铁矿与高温 β -石英等火山碎屑物质共生;微量元素总量陡然升高,这些证据表明,海洋中形成大量黄铁矿的硫化氢,其来源与火山作用密切相关。

4 结论

浙江煤山长兴组顶部黄铁矿高含量层位(第 24e₂ 分层)的形成,与火山作用密切相关。二叠纪末期海底和陆上火山喷发活动,向海洋输入的火山碎屑物

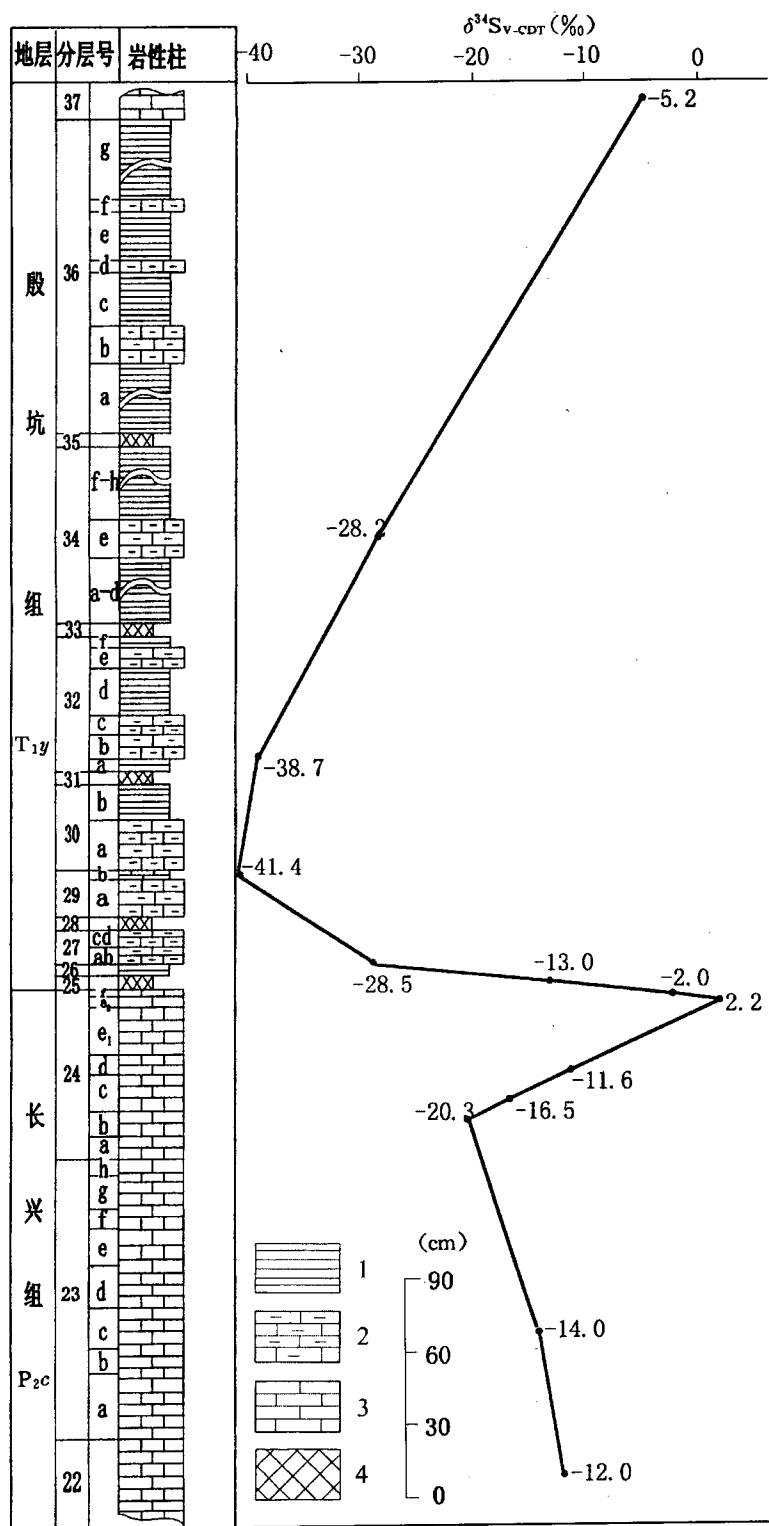


图 1 浙江煤山 P/T 界线附近 $\delta^{34}S_{v-CDT}$ (‰) 值的垂向变化

Fig. 1 Vertical difference of $\delta^{34}S_{v-CDT}$ (‰) near the P/T boundary in Meishan, Zhejiang

1—泥岩; 2—泥质石灰岩; 3—石灰岩; 4—粘土岩

1—Argillite; 2—argillaceous limestone; 3—limestone; 4—claystone

质和富 ^{34}S 的 H_2S 气体,为形成大量黄铁矿创造了条件。二叠纪、三叠纪之交,强烈的火山作用,使大气和海洋环境受到污染,从而使大量生物相继灭绝。

致谢:感谢中国矿业大学付雪海、秦勇、桑树勋教授和中国科学院南京地质古生物研究所沈树忠教授、曹长群研究员等的支持。

参 考 文 献

- 曹长群,王伟,金玉环. 2002. 浙江煤山二叠系—三叠系界线附近碳同位素变化. 科学通报, 47(4): 302~306.
- 陈光远,孙岱生,张立,臧维生,王健,鲁安怀. 1987. 黄铁矿成因形态学,现代地质, 1(1): 60~76.
- 何锦文,芮琳,柴之芳,马淑兰. 1987. 浙江长兴煤山地区晚二叠世末、早三叠世初的火山活动. 地层学杂志, 11(3): 194~199.
- 李玉成,周忠泽. 2002. 华南二叠纪末缺氧海水中的有毒气体与生物集群绝灭. 地质地球化学, 30(1): 5~63.
- 梁汉东. 2002. 二叠纪末期海洋硫酸化环境灾变事件: 煤山剖面岩石矿物证据. 科学通报, 47: 784~788.
- 魏菊英,王关玉. 1988. 同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 153~165.
- 吴顺宝,任迎新,毕仙梅. 1990. 湖北黄石、浙江煤山二叠系—三叠系界线处火山物质及粘土岩成因探讨. 地球科学——中国地质大学学报, 15(6): 589~595.
- 殷鸿福,黄思骥,张克信,杨逢清,丁梅华,毕先梅,张素新. 1989. 华南二叠纪—三叠纪之交的火山活动及其对生物灭绝的影响. 地质学报, 63(2): 169~181.
- 赵其渊,等. 1989. 海洋地球化学. 北京: 地质出版社, 11.
- 郑永飞,陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学. 北京: 科学出版社, 193~247.
- 中国科学院地球化学研究所. 1981. 铁的地球化学. 北京: 科学出版社, 119.
- 周瑶琪,柴之芳,马淑兰,毛雪瑛,何锦文,孙亦因. 1986. 浙江长兴二叠纪、三叠纪之间的冲击事件. 科学通报, 31(23): 1838~1839.
- Bechtel A, Yuzhuang Sun, Püttmann W, Hoernes S, Hoef J. 2001. Isotopic evidence for multi-stage base metal enrichment in the Kupferschiefer from the Sangerhausen Basin, Germany. Chemical

Geology, 176: 31~49.

- Grice K, Cao C Q, Love G D, Bottcher M E, Twitchett R J, Grosjean E, Summons R E, Turgeon S C, Dunning W, Jin Y G. 2005. Photic zone euxinia during the Permian-Triassic superanoxic event. Science, 307: 706~709.
- Hotinski R M, Bičič K L, Kump L R, Najjar R G, Arthur M A. 2001. Ocean stagnation and end-Permian anoxia. Geology, 29: 7~10.
- Huey R B, Ward P D. 2005. Hypoxia, Global Warming, and Terrestrial Late Permian Extinctions. Science, 308: 398~401.
- Jablonski D. 1994. Extinctions in the fossil record. Philosophical Transactions of the Royal Society, B344: 11~17.
- Kaiho K, Kajiwar Y, Nakano T, Miura Y, Kawahata H, Tazaki K, Ueshima M, Chen Z, Shi G R. 2001. End-Permian catastrophe by a bolide impact: evidence of a gigantic release of sulfur from the mantle. Geology, 29: 815~818.
- Xu D Y, Ma S, Chia Z F, Mao X Y, Sun Y Y, Zhang Q, Yang Z Z. 1985. Abundance variation of iridium and trace elements at the Permian/Triassic boundary at Changxing in China. Nature, 314: 154~156.
- Yin Hongfu, Tong Jinana, Zhang Kexin. 2005. A review on the global stratotype section and point of the Permian-Triassic boundary. Acta Geologica Sinica (English Edition), 79(6): 715~728.

图 版 说 明

1. 浙江煤山长兴组第24e₂分层石灰岩中的黄铁矿, 从下向上, 数量增多, 颗粒变大 (岩石光片)。
2. 浙江煤山长兴组第24e₂分层石灰岩中的黄铁矿, 晶体单向延长, 呈长柱状 (扫描电子显微镜 SEM)。
3. 浙江煤山长兴组第24e₂分层石灰岩中的黄铁矿, 连生五角十二面体 (SEM)。
4. 浙江煤山长兴组第24f 分层石灰岩中的黄铁矿, 其晶面、晶棱呈弧形 (SEM)。
5. 浙江煤山第25分层界线粘土岩中的黄铁矿球状微粒集合体 (SEM)。
6. 浙江煤山第27分层中分散状黄铁矿颗粒 (岩石光片, 反射光)。
7. 浙江煤山第29分层中黄铁矿单形 (八面体) 及其聚形 (SEM)。
8. 浙江煤山第32分层中的板状黄铁矿或白铁矿 (SEM)。

Pyrites and Sulfur Isotopic Composition near the Permian-Triassic Boundary in Meishan, Zhejiang

JIANG Yaofa^{1,2)}, TANG Yuegang¹⁾, DAI Shifeng¹⁾, ZOU Xing³⁾, QIAN Handong⁴⁾, ZHOU Guoqing²⁾

1) China University of Mining and Technology, Beijing, 100083

2) Xuzhou Institute of Architectural Technology, Xuzhou, Jiangsu, 221008

3) Ministry of Land and Resources, Beijing, 100812

4) Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu, 210093

Abstract

The content and crystal form of pyrites, and sulfur isotopic composition of pyritic sulfur as well as its vertical distribution in the strata near the Permian-Triassic boundary in Meishan, Changxing County, Zhejiang Province, China were studied using theories and methods of geology, petrology, mineralogy and isotopic geochemistry. It is pointed out that the genesis of mass pyrites in the top Permian limestone bed may be

correlated with volcanism. Research result indicates that the limestone bed (bed 24e₂, closely adjacent to the P/T boundary) has the highest pyritic content (1.84%), which is 90 times the content of other beds (bed 22 to bed 24d) far away from the P/T boundary. It has an abnormally high $\delta^{34}\text{S}$ value of +2.2‰, which is very similar to the average value of volcanic gas, but is completely different from the value of bacteria reduced pyrites. Furthermore, there are many volcanic products such as β -quartz and siliceous cylinder and siliceous spherules in bed 24e₂, and the contents of trace elements in pyrites and limestone are anomalously high in bed 24e₂ and bed 24f. So, the geological event causing the massive extinction may be volcanism, and submarine volcanic eruption with mass H₂S gas production led to the enrichment of mass H₂S at the ocean surface in the end-Permian.

Key words: pyrite; sulfur isotope; Permian-Triassic boundary; volcanism; Meishan, Zhejiang

~~~~~

