

滇东晚二叠世煤田中火山灰蚀变粘土岩 夹矸 (TONSTEIN) 的锆石特征¹⁾

周义平 汤大忠

(昆明煤炭科学研究所)

任友谅

(美国科罗拉多矿业学院地球化学系)

提要 本文就滇东晚二叠世含煤沉积中同沉积火山灰蚀变粘土岩夹矸和正常沉积粘土岩的锆石进行了统计学和形态学研究。该两种不同成因类型的粘土岩中锆石含量及形态面貌有显著区别。tonsteins中锆石形态参数统计规律因层位而异；同层位 tonstein 的锆石含量和形态参数在平面上呈有规律地变化。系统研究含煤建造剖面上各类岩石（包括 tonsteins）中的锆石特征，能够用以确定物质来源、性质、成因以及以此为基础建立正常地层层序并精确对比层位，因而具有理论和实用意义。

关键词 粘土岩夹矸 火山凝灰 锆石 晚二叠世 云南东部

第一作者简介 周义平 男 53岁 高级工程师 煤田地质

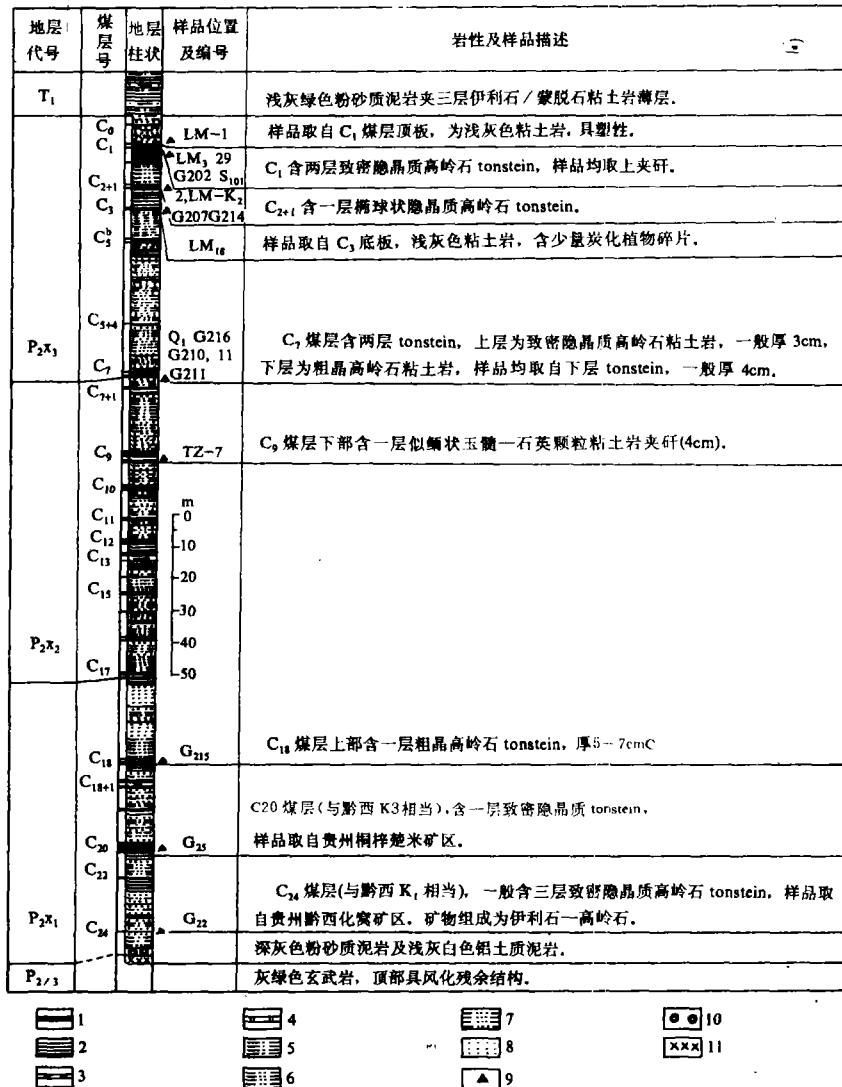
滇东晚二叠世煤田是云南省最重要的成煤期和聚煤区，对该含煤建造中广泛发育的火山灰蚀变粘土岩夹矸 (TONSTEIN) 已进行过有关岩石学、矿物学、地球化学诸方面的深入研究 (周义平等, 1988; Burger 等, 1990; Zhou Yi-ping et al, 1982)。作为含煤岩系中最重要的等时基准层，已在煤田地质勘探、聚煤环境和规律研究以及煤矿建设生产中得到了普遍使用，取得良好效果。为进一步考查 tonstein 的其它特征，深入研究其成因和鉴别层位的标志，近年来就普遍存在于此种夹矸中的副矿物锆石作了比较系统的统计学和形态学研究 (Dopita and Kralik, 1977)，揭示出了某些值得注意的、有重要实用价值的规律，其主要意义在于提供了以 tonstein 的锆石含量和形态参数为依据的鉴别层位的新方法；与其它标志相结合，提高了厘定层位的可信度。

一、样品分布

业已查明，滇东晚二叠世煤田中 tonsteins 的副矿物主要由锆石、 β 石英、磷灰石组成，并含有很少量的独居石、透长石、白钛矿，以及罕见的铅硒矿、锡石和化学组成不确定的镁铁铝硅酸盐矿物 (周义平等, 1988; Zhou Yi-ping et al., 1982)。副矿物的组合面貌

¹⁾ 本文系云南省科委应用基础研究基金资助项目 (课题号: 89D-103) 的研究成果之一。

及地化标志均表明原始物质由酸性、中酸性火山灰构成。鉴于锆石分布最广, 结晶形态与原始形成条件密切相关 (Pupin, 1980), 而在表生作用带内因其机械强度和化学稳定性高易于完整保存下来。因此, 就部分层位取样采用人工重砂的方法单独分离出锆石晶体, 用显微镜及扫描电镜 (SEM) 进行研究。为查明其与正常沉积粘土岩的区别以及确定煤层中其它岩性夹层的成因, 也选取了少量样品进行类似的锆石分离和研究。其处理样品 20 件。样品绝大部分取自滇东的主要煤矿区, 个别取自邻区 (贵州); 取样矿区煤的无水无灰基挥发份产



- 1.煤 2.粘土岩 3.炭质泥岩 4.Tonstein 5.粉砂质泥岩 6.泥质粉砂岩
- 7.粉砂岩 8.细砂岩 9.样品位置 10.铝土岩 11.玄武岩

图 1 滇东晚二叠世含煤沉积剖面及人工重砂样品分布示意图

Fig. 1 Stratigraphic profile of Late Permian coal-bearing formation of eastern Yunnan showing distribution of panned samples on various horizons

率为8—36%；共包含9个层位（其中属于 tonstein 的6层）。样品的剖面分布如图1示。

二、锆石的形态特征

锆石是各类岩石中常见的副矿物之一，它主要是在岩浆作用过程和变质交代作用过程中形成的。正常沉积岩中的锆石是由陆源区经过搬运沉积在沉积岩中的继承性副矿物，从根本上讲，是来源于岩浆岩或（和）变质岩或（和）火山灰。本研究区含煤岩系中没有发现存在自生锆石的证据（刘英俊，1984）。

常见锆石晶体形态主要由两组柱面〔(100)、(110)〕和两组锥面〔(311)、(111)〕构成的聚形。在原生条件下，其结晶形态受岩石化学成分和成岩物化条件的控制（章邦桐等，1988；蔡庆根等，1988；Pupin, 1980）。锆石的形成环境不仅影响到晶形的发育，同时也影响到同一晶体各个晶面的相对发育程度。据Pupin (1980)的研究，在中酸性岩浆岩中，铝碱比高的环境下，其(311)锥面发育良好（如本区C₆ tonstein中的锆石），高温条件下则(110)柱面发育（如本区C₂₊₁、K₃、K₁等层 tonstein中的锆石，图版II、1、4）。研究区内 tonstein 中的锆石晶体以正方柱和正方双锥组成聚形为主，极少见到柱面不发育的双锥状晶体。柱面和锥面的各自发育程度的差别在形态上显示出重要的特征，即晶体长度（c）和宽度（a）之比值（c/a）反映出一定的统计规律。虽然不同层的 tonstein 的锆石平均c/a值有某些差别（参见表1），但总体面貌均以正方双锥的长柱状晶体占较大比例，且与酸性岩浆岩中锆石的形态颇为相似（广东省地质中心实验室，1979；王濮等，1984）（图版I、1-4）。

本区正常沉积物质来源于盆地西侧古陆的峨眉山玄武岩（p_{2β}）风化产物。其岩石化学特性接近大陆裂谷型的碱性玄武岩和拉斑玄武岩^①，因此，正常沉积岩与 tonstein 中的锆石晶体形态总体面貌必然存在明显区别。取自煤层顶底板粘土岩（正常沉积）样品的人工重砂研究表明，其锆石晶体以四方双锥短柱体为特征，主要由〔(100)、(111)〕和〔(110)、(111)〕组成的聚形，并见有相当数量的三向等长的粒状（c/a值接近1）。其总体面貌与玄武岩中的锆石形态类似（广东省地质局中心实验室，1979）（图版I、6；II、5、6）。研究区内的上含煤段中（P₂X₃）已发现三个层位（C₅、C₇、C₉）含似鲕状玉髓-石英颗粒的炭质粘土岩夹矸（图版II、8），玉髓-石英粒呈不规则椭球状，长轴近于平行层面，密集排列。该夹矸一般厚2-4cm，与上、下煤分层接触面清晰，层位较稳定，在矿井内可连续追索上百米，曾怀疑也属同沉积火山灰蚀变产物。现据其锆石晶体形态面貌（图版I、5、II、7）及微量元素特征判断^②，该夹矸也属正常沉积。在部分玉髓-石英颗粒中见有炭质包体（炭质包含于颗粒的中部并成同心圆状，图版II、8），据此推测这种颗粒是在早成岩期由SiO₂胶体凝析形成的。此外，火山灰蚀变粘土岩和正常沉积粘土岩中锆石表面的光洁度不同：前者未经水流搬运，表面常附着其它物质，显得粗糙；后者经水流长距离搬运，强度比锆石低的附着物已磨蚀殆尽，表面洁净光滑（图版I、II）。

① 刘杖，1982，峨眉山玄武岩的岩石化学特征及其喷溢的大地构造环境，康滇大陆古裂谷带研究进展报告。

② 关于 Tonstein 及正常沉积粘土岩的元素地球化学研究结果将另文发表。

三、锆石晶体含量及形态参数的剖面分布和空间分布特征

已经指出, 该区含煤岩系中除煤层 (内源沉积) 以外的沉积物 (外源沉积) 有两类截然不同的物质来源和沉积机理. 无论正常沉积和非正常沉积, 其原始物质在搬运过程中都必然产生颗粒形态和成分组成的分异; 其分异特点应与沉积物质的搬运方式密切相关 (刘东生, 1965; Diessel, 1985). 对古代和近代火山活动规律的研究表明, 火山灰沉降物的数量、粒度分布、成分构成与岩浆性质、火山活动阶段、主导气流方向及距火山源的远近等有直接关系 (张帆等, 1990; Diessel, 1985; Francis, 1985; Henderson, 1984). 就其中所含的锆石而言, 由于其比重较大 (4.7)、硬度高 (7-8), 可以推测在相近的粒径情况下, 锆石晶体比火山灰中的石屑、玻屑和某些比重较小的晶屑 (如长石、磷灰石、黑云母等) 更早沉降, 其原始形态也不致因颗粒间的碰撞而损坏 (对锆石晶体表面的大量的 SEM 研究表明, 未发现颗粒碰撞产生的明显痕迹). 还可推测, 随搬运距离增加, 沉降火山灰中锆石粒度、数量均会减少; 形态特征也将随搬运距离呈现有规律的变化. 有鉴于此, 在将样品进行人工重砂分离后, 分别统计了各样品单位重量 (克) 中的锆石晶粒数 (M 值), 测定了每件样随机抽

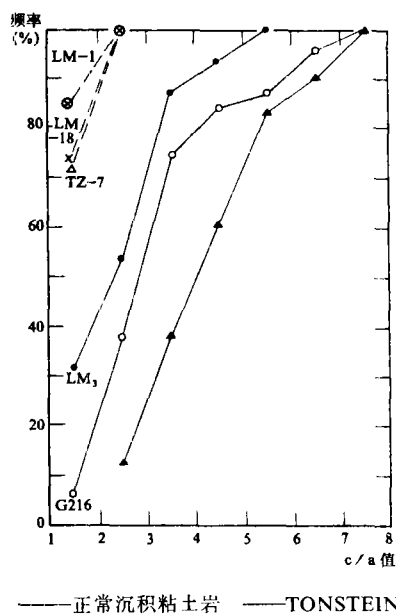
取 30 粒左右的锆石晶体的长度 (c) 和宽度 (a) (mm), 计算每粒晶体的 c/a 比值. 其数据用于统计分析, 以研究同一地区不同层位的 tonsteins 和同一层 tonstein 在空间上的锆石含量及形态参数变化规律. 对于正常沉积粘土岩中的锆石也同样处理.

1. 各层 tonstein 的锆石特征

所考查的 6 层 tonsteins 中锆石的含量 (M 值) 变化在 0.4~185 之间, 相差甚为悬殊; 各层所含锆石的平均长度 (c 值) 在 0.1~0.23mm, 平均宽度 (a 值) 在 0.04~0.08mm, 平均 c/a 比值为 2.1~4.5. 锆石 M 值及形态参数分布如表 1、图 2 所示.

表 1 及图 2 表明, 各层 tonsteins 的 M 值与形态参数 (c、a、 c/a) 及其分布有一定联系, 即随 M 值增大, 各项参数均呈增高趋势, 数据分布范围也有所扩大; 从岩石结构类型看, 在 M 值相近的情况下, 颗粒结构类型 (C_{2+1} tonstein) 比其它结构类型具有更大的粒径 (c 值) 和更高的 c/a 值, 且形态参数分布范围更宽. 至于两类不同成因的粘土岩, 其形态参数和分布频率积累曲线的差别就更为显著.

就同一矿区而言, 各层 tonstein 的锆石



图内样品号与表 1 一致

图 2 TONSTEIN 及正常沉积粘土岩中
锆石形态参数分布频率积累曲线

Fig. 2 Cumulative distribution-frequency curves of morphological parameters of zircons in tonsteins vs. conventional claystones (sample codes are consistent with those in Table 1)

M值及形态参数均有自己的特征; 有关数据可以用作鉴别层位的重要依据(图3, 表1)。

表1 TONSTEIN及正常沉积粘土岩中锆石数量及形态参数统计

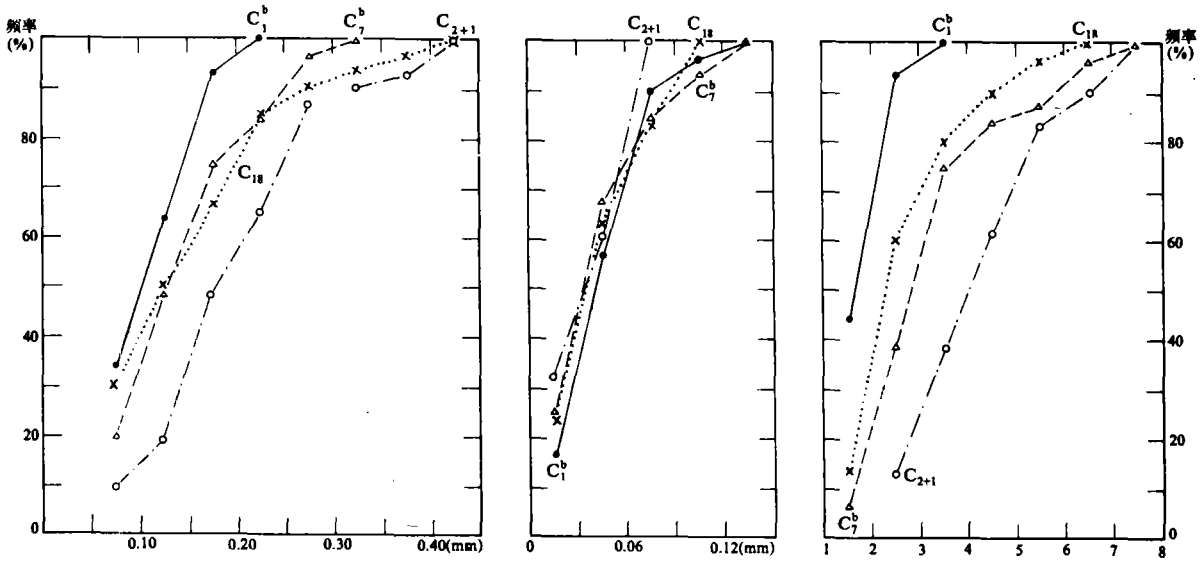
Table 1 Statistics of quantities and morphological parameters of zircons in tonsteins vs. conventional claystones

样号	采样地点	层位	锆石晶粒数/1克样	平均c轴(mm)	平均a轴(mm)	平均a/c值	c/a值分布频率(%)						
							1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	>7
以下为 TONSTEIN													
G 200	后所	C ₁ ^a	22	0.183	0.055	3.33	18.2	30.3	30.3	12.1	3.0	3.0	3.0
LM-3	罗木	C ₁ ^a	35	0.160	0.064	2.50	31.3	21.9	34.4	6.3	6.3	0	0
29	来宾	C ₁ ^a	27	0.227	0.081	2.80	22.6	41.9	19.4	16.1	0	0	0
G 202	庆云	C ₁ ^a	11	0.130	0.061	2.12	43.3	50.0	6.7	0	0	0	0
S 101	水城大河边	C ₁ ^a	2	0.133	0.058	2.31	48.4	12.9	29.0	6.5	3.2	0	0
LM-K ₂	罗木	C ₂₊₁	3	0.171	0.058	2.97	25.0	28.1	25.0	12.5	3.1	6.2	0
2	后所	C ₂₊₁	13	0.217	0.049	4.43	0	12.9	25.8	22.6	22.6	6.5	9.7
G 207	后所	C ₂₊₁	9	0.185	0.057	3.26	12.1	36.4	24.2	12.1	12.1	3.2	0
G 214	羊场	C ₂₊₁	5	0.183	0.054	3.40	19.4	22.6	25.8	9.7	16.1	3.2	3.2
G 216	后所	C ₇ ^b	164	0.193	0.060	3.20	18.8	31.3	18.8	12.5	9.4	6.3	3.1
G 210	庆云	C ₇ ^b	47	0.172	0.059	2.90	6.5	32.3	35.5	9.7	3.2	9.7	3.2
Q ₁	四川筠连	C ₇ ^b	93	0.200	0.061	3.28	3.4	34.5	34.5	13.8	10.3	6.9	0
G 211	老厂	C ₇ ^b	8	0.099	0.041	2.40	36.7	40.0	13.3	10.0	0	0	0
11	水城玉舍	C ₇ ^b	4	0.118	0.047	2.51	26.7	46.7	16.7	6.7	0	3.3	0
G 215	庆云	C ₁₈	185	0.175	0.057	3.05	13.3	46.7	20.0	10.0	6.73C	3.3	0
G 25	桐梓楚米	K ₃	1	0.109	0.042	2.57	31.0	48.3	3.4	3.4	6.9	3.4	3.4
G 22	黔西化窝	K ₁	0.4	0.092	0.038	2.44	12.0	76.0	40	8.0	0	0	0

以下为正常沉积粘土岩

LM 18	罗木	C ₃ [*]	0.9	0.190	0.110	1.73	73.3	26.7	0	0	0	0	0
TZ-7	老厂	C ₉ [*]	4.2	0.112	0.065	1.72	71.9	28.1	0	0	0	0	0
LM-1	罗木	C ₁ [*]	0.7	0.071	0.044	1.61	86.7	13.3	0	0	0	0	0

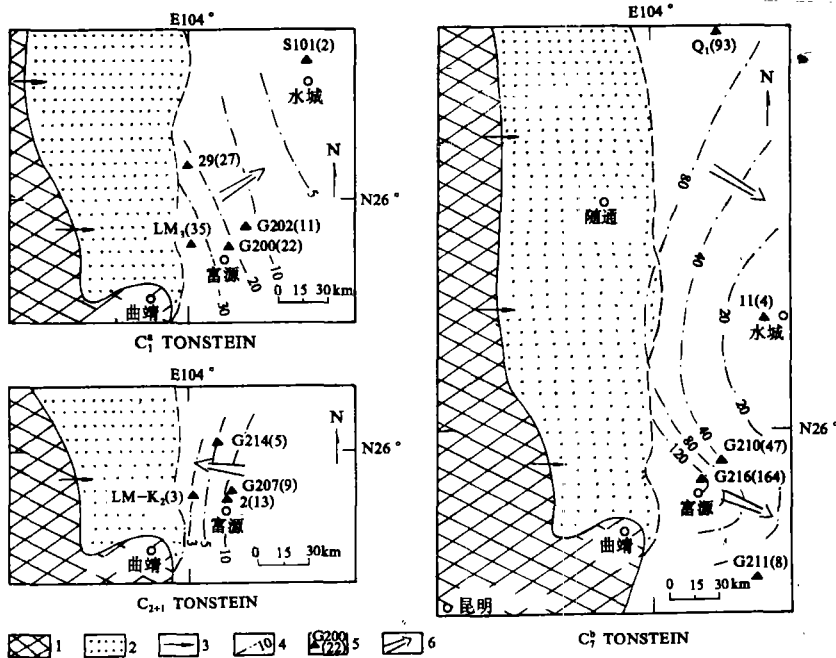
* C₃煤层底板粘土岩; C₁煤层顶板粘土岩; C₉煤层中下部岩质粘土岩夹矸, 厚4cm, 含似鲕状玉髓-石英颗粒



左. c 轴长度 (mm) 分布频率积累曲线 中.a 轴长度 (mm) 分布频率积累曲线 右.c/a 比值分布频率积累曲线

图 3 庆云矿区四层 TONSTEINS 锆石形态参数分布频率积累曲线图

Fig. 3 Cumulative distribution-frequency curves of morphological parameters of zircons from four layers of tonsteins in Qinyun Mining Area



1.峨嵋山玄武岩 ($P_{2\beta}$) 古剥蚀区 2.粗碎屑沉积 (不含煤) 3.陆源物质搬运方向
4.TONSTEIN 锆石 M 值等值线 5.采样点位置、样品编号, 括号内为 M 值 6.推测的主导气流方向

图 4 三层 TONSTEINS 的沉积古地理及 M 值等值线图

Fig. 4 Sedimentary paleogeographic map of Late Permian coal-bearing formation of eastern Yunnan showing isopleth of M values of zircons in tonsteins

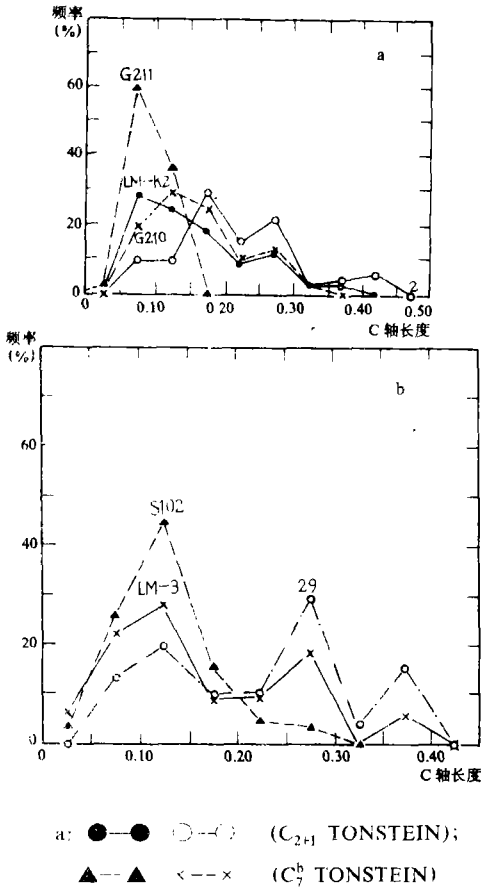


图5 三层 tonsteins 锆石 c 值频率分布曲线图
 Fig. 5 Diagrams of frequency distribution curves of the length of axis c of zircons in three layers of tonsteins (sample codes are consistent with those in Table 1)

2. 同层位 tonstein 中锆石的数量及形态参数空间变化规律

选择了在大范围内分布稳定, 层位可靠的三层 tonsteins (岩石结构分别为致密型-C₁^a, 结晶型-C₇^b 和颗粒型-C₂₊₁) 作为研究客体, 在不同矿区采样做人工重砂分析。

首先发现各层 tonstein 中锆石晶粒数的空间变化趋势不同, 如果把 M 值大的地方认定为距物源较近, 则同层 tonstein 的 M 值减少的方向, 应是气流搬运的主导方向, 考查的三层 tonsteins 的 M 值等值线分布如图 4. 图 4 表明, M 值均呈单向降低, 但各层的变化梯度不一, 且方向各异: C₁^a tonstein 的 M 值向 NE 方向减少梯度最小, 减少方向与陆源物搬运方向呈 40° 交角; C₂₊₁ tonstein 的 M 值向近西方向降低梯度最小, 减少方向与陆源物搬运方向相反; C₇^b tonstein 的 M 值向 SE 方向减少梯度较大, 变化也较大, M 值降低方向与陆源物质搬运方向呈 30—40° 交角。上述特点不仅有力地印证了 tonstein 原始物质的非陆源成因, 还表明形成三层 tonsteins 的火山源的地理位置各异, 火山灰物质构成也有明显区别。

其次是各层 tonstein 的锆石 M 值与形态参数在空间上同步变化, 相互间存在更紧密的联系, 即随 M 值减少, 平均 c、a、c/a 值均相应降低, 但层位不同, M 值对平均 c、a、c/a 值的回归值有显著区别 (表 1)。同样, 各层 tonstein 锆石 c 值的频率分布曲线也呈有

规律的变化, 即随 M 值的降低, 曲线峰值向左侧移动, 分布形态由双峰 (或多峰) 式分布向单峰式分布转变, 粒径分布范围和平均粒径同步减小 (图 5, 表 1)。

结 论

1. 含煤建造中正常沉积与火山灰蚀变形成的粘土岩, 由于物质来源和搬运方式的本质区别, 其中所含锆石的结晶习性、晶体数量和形态参数等均有各自的特征, 因此, 研究各类沉积物中的锆石, 有可能获得鉴别物质来源、原始物质性质及搬运方式的重要证据。

2. 在同一矿区内, 各层 tonsteins 的锆石 M 值及形态参数区别明显, 其特征可以用作鉴别层位的可靠标志。

3.通过对同一层 tonstein 的锆石 M 值及形态参数频率分布空间变化规律的研究, 揭示出沉积物质来源的方向. 本报告提供的资料从另一个侧面有力地证实了 tonstein 原始物质的火山灰成因.

本文得到云南省科学技术委员会基础研究基金的资助. 王长怀工程师对样品作了精细的重砂分析, 胡晓斋、赵明开高级工程师协助进行岩矿、探针及 SEM 研究, 伍致平清绘插图, 胡修浩提供部分文献, 段存信复制图版. 作者深表谢忱!

收稿日期: 1991年4月23日

参 考 文 献

- (1) 广东省地质局中心实验室编, 1979, 砂矿物图册, 地质出版社, 320页.
- (2) 王濮等编, 1984, 系统矿物学 (中册), 地质出版社, 522页.
- (3) 周义平等, 1988, 云南地质, 7卷, 3期, 213-227页.
- (4) 刘东生, 1965, 中国的黄土堆积, 科学出版社, 244页.
- (5) 刘英俊, 1984, 元素地球化学, 科学出版社, 180页.
- (6) 张帆等, 1990, 沉积学报, 8卷, 4期, 22-31页.
- (7) 章邦桐等, 1988, 地质与勘探, 24卷, 6期, 27-32页.
- (8) 蔡根庆等, 1988, 矿物学报, 8卷, 2期, 177-185页.
- (9) Burger K., Zhou, Y. and Tang, D., 1990, Int. J. Coal Geol., No.15: p.341-356.
- (10) Dopita M. and Kralik J., 1977, Coal Tonsteins in Octrave-Karvina coal basin, CSSR. Octrava, p.213.
- (11) Diessel C.F.K., 1985, Tuffs and Tonsteins in the coal Measures of New South Wales, Australia. X ICC, Symposium, No.8, p.197-210.
- (12) Francis E. H., 1985, Recent Ash-Fall: A Guide to Tonstein Distribution. X ICC, Symposium, No. 8, p189-195, Madrid.
- (13) Henderson P., 1984, Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier Science Publishers B.V. (田丰等译, 1989, 稀土元素地球化学, 地质出版社, 北京, p.284).
- (14) Pupin J.P., 1980, Contributions to Mineralogy and Petrology, V.73, No.3, p.207-220.
- (15) Zhou Yiping, Ren Youliang and Bohor, B.F., 1982, Int. J. Coal Geol., No.2: p.49-77.

Characteristics of Zircons from Volcanic Ash-derived Tonsteins in Late Permian Coalfields of Eastern Yunnan, China

Zhou Yiping Tang Dazhong

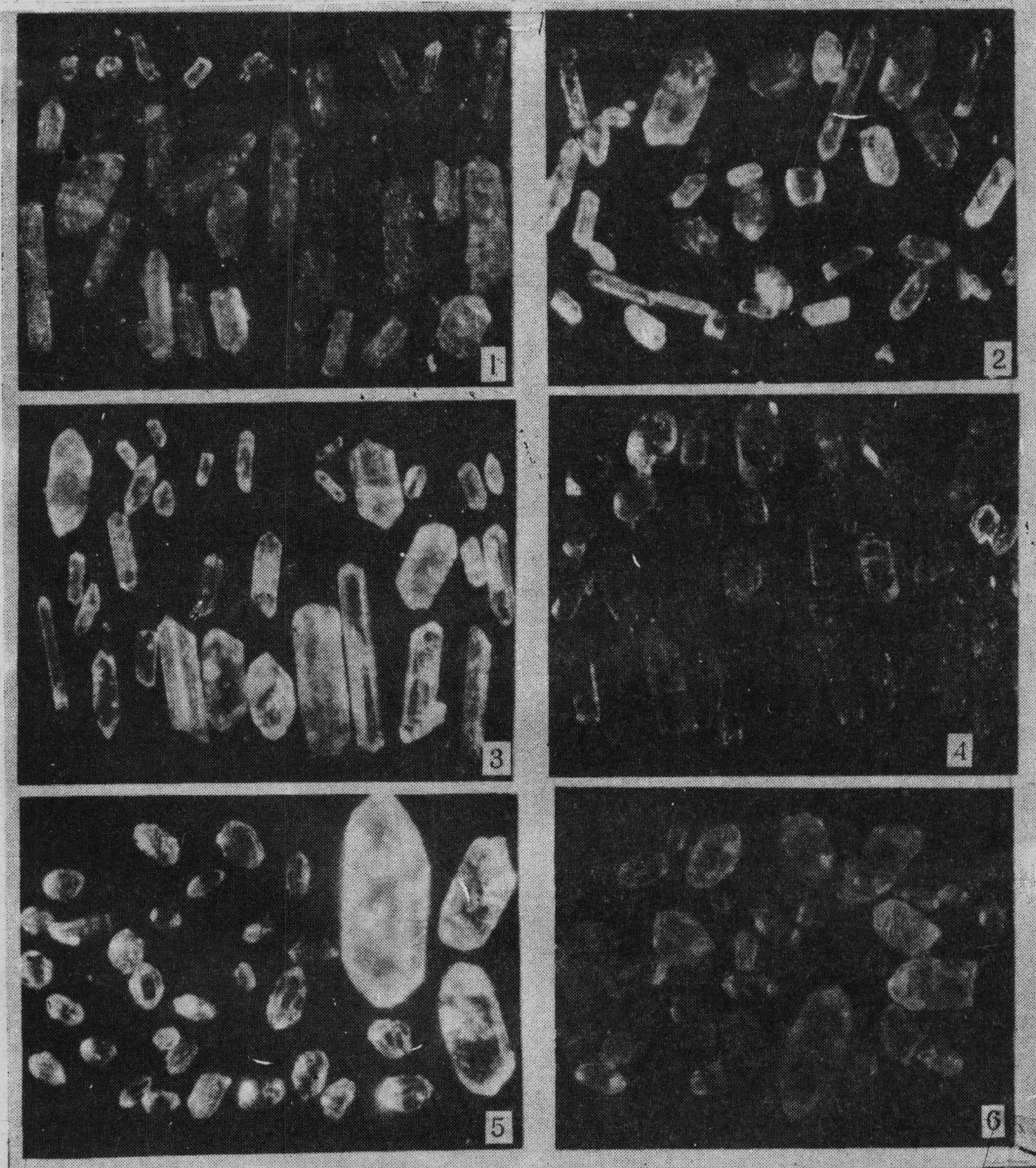
(Kunming Institute of Coal Sciences, Kunming, Yunnan, China)

Ren Youliang

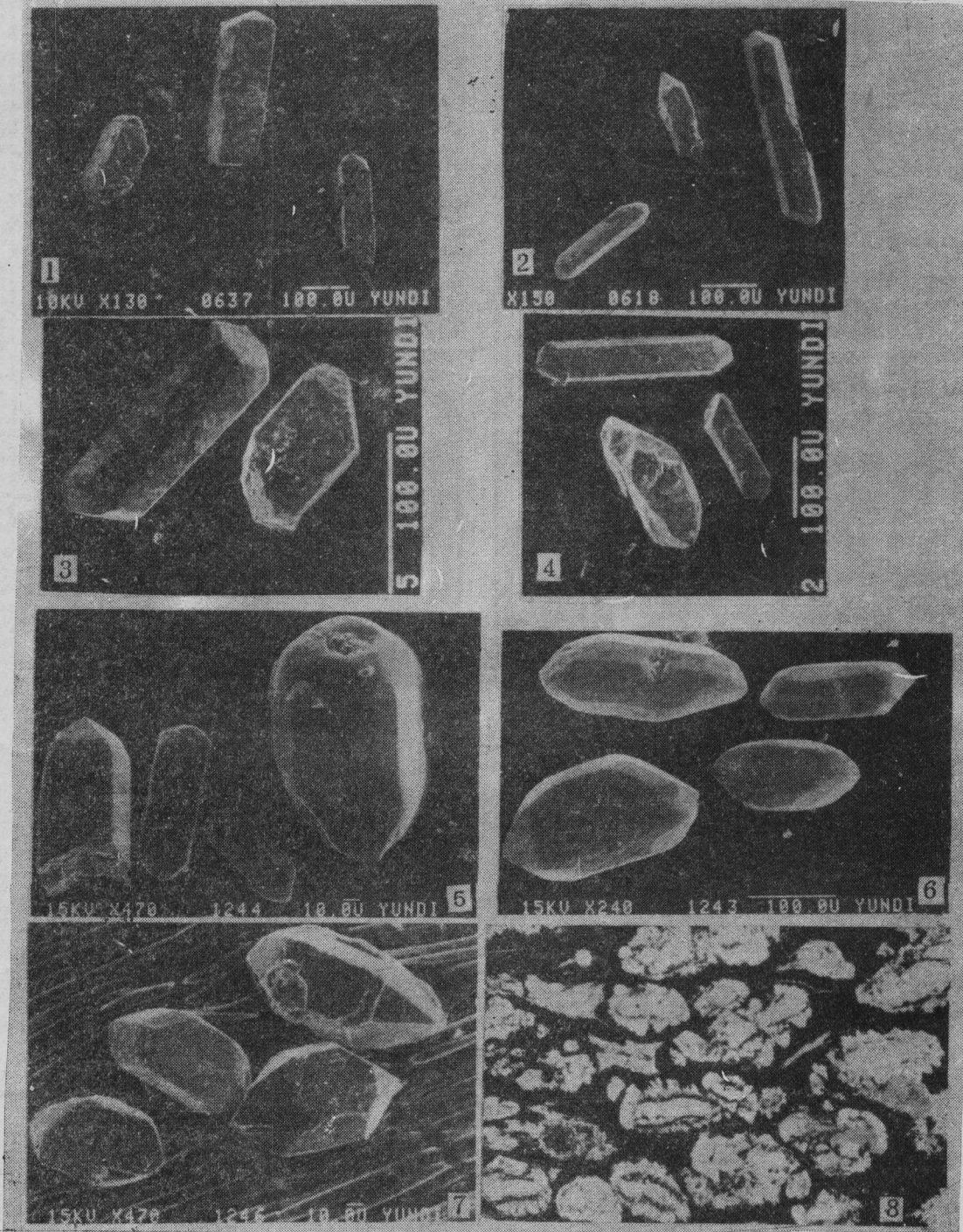
(Department of Geochemistry, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401, USA)

Abstract

The clayey coal-partings (tonsteins) of altered synsedimentary volcanic ash-fall origin are well-developed in the Late-Permian coal-bearing formation of eastern Yunnan Province, an area of approximately 100,000 km². Because of their unique origin and stable lateral distribution over vast areas, great importance has been attached to the studies of tonsteins (i.e., unconventional claystones). More than 20 layers (with a thickness in the range of 3–6 cm) of tonsteins were identified from the coal-bearing sequence 200–250 m thick. In order to distinguish tonsteins from the co-existing conventional claystones macroscopically and microscopically, to search for convergence of evidence on the origin of tonsteins from different approaches, to characterize the individuality of tonsteins from different horizons, as well as to figure out the directions from which the source materials were derived, special techniques such as panned-concentrate separation, statistical and morphological analyses were performed on zircon minerals from claystones of two different origins and diageneses. The results demonstrate the fact that zircons of these two different origins are greatly different in their contents, morphological features and related parametric statistical patterns. The surficial features of these crystal solids also show apparent difference in origin. Tonsteins from the same area but different horizons are characterized by different zircon contents and different morphological parametric statistical patterns. Tonsteins of the same horizon show close statistical associations in terms of zircon content and morphological parameters; there are continuous variations in statistical patterns in response to changes in lateral distribution of the same layer of tonstein. It was made possible to identify the different paths and directions in which the source materials of tonsteins (i.e., the volcanic ash-falls) or conventional claystones (i.e., the terrigenous clastic sediments) were derived and transported. Therefore, it is important to recognize the source materials and their nature and origin by studying systematically the characteristics of zircons in various rocks (including tonsteins) along the profile of a coal-bearing formation, in order to provide the basic data as an aid in establishing the stratigraphic sequence, facilitating the more precise coal correlation in a mining area as well as improving the stratigraphic correlation on a regional scale.



图版 I 火山灰蚀变粘土岩夹矸及正常沉积粘土岩中锆石形貌图 (显微镜照片, 侧光), 锆石晶粒为人工重砂。
 1. G 214, 羊场, C_{2+1} tonstein, $\times 60$. 2. G.25, 桐梓 K_3 tonstein, $\times 75$. 3. G 215, 庆云 C_{18} tonstein, $\times 65$. 4. G 216, 后所 C_7^b tonstein, $\times 55$. 5. TZ-7, 老厂 C_8 炭质粘岩夹矸, 含石英-玉髓球粒 (参看图版 II, 8), 属正常沉积, $\times 70$. 6. LM-18, 罗木 C_3 煤层底板粘土岩, 属正常沉积, $\times 42$.



图版II 两类不同成因粘土岩中人工重砂锆石 SEM 照片及含石英-玉髓粒炭质粘土岩薄片的显微镜照片。

1.LM₃-K₂, C₂₊₁ tonstein, 云(110)柱面发育的板状晶体。 2.G 215, C₁₂ tonstein, 正方双锥长柱状, 锥面不发育, 具负晶表面。 3.11, C₇^b tonstein, 柱状及板状晶体, 左粒(100)、(110)柱面发育。 4.G 25, K, tonstein, 正方双锥柱状, 左下粒为柱状连晶。 LM-1, C₁ 煤层顶板正常沉积粘土岩, 正方双锥短柱状, 晶面光洁, 左粒晶体锥部发育不全。 6.LM-18, C₃ 煤层底板正常沉积粘土岩, 正方双锥短柱状, 晶面光洁。 7.TZ-7, C₈ 煤层中含侧鲕状石英-玉髓粒炭质粘土岩夹矸属正常沉积, 正方双锥短柱状, 晶面光洁。 8.TZ-7, 云似鲕状石英-玉髓粒分布于炭质粘土基质(黑色)中, 薄片, 单偏光, ×50。