

· 煤田地质 ·

# 川南须家河组第四段 TONSTEINS 的岩石地化特征

Kurt Burger (德国鲁尔煤炭公司)

任友谅 (美国科罗拉多矿业学院)

周义平 (昆明煤炭科学研究所 650041)

**摘要** 对四川南部上三叠统须家河组第 4 段( $T_{3xj}^4$ ) 中的 5 层 TONSTEINS 做了较详细的岩石学、地球化学研究。结果表明,它们都是同沉积的酸性火山灰,在泥炭沼泽环境下,经过水解和后期成岩作用,转变成质地较纯的高岭石粘土岩。TONSTEINS 的岩石结构类型较简单,以致密型和团粒一致密型为主,结晶型较少。同层 TONSTEIN 的岩石结构类型和某些亲石元素含量及组合关系在较大范围内保持稳定,并具有显著的标志性;TONSTEIN 是区域煤层对比和建立年代地层格架的最重要的基准层。

**关键词** TONSTEIN 岩石学 地球化学 晚三叠世 四川南部

**中国图书资料分类法分类号** P619.264

**作者简介** Kurt Burger 男 71 岁 博士 沉积岩石学 煤地质学

## 1 引言

四川盆地南部上三叠统须家河组厚 450~600 m,由厚层砂岩与粉砂岩、泥岩和煤层组成。据岩性和煤层赋存情况,可划分为 6 个层段,其中一、三、五为厚层砂岩段,二、四、六为含煤泥岩段<sup>[1]</sup>。在二、四段的可采煤层中,常含有 1~3 层高岭石粘土岩夹矸(TONSTEIN)。

研究区范围东起合川,西迄乐山,两地相距 270 km,控制面积约 10 000 km<sup>2</sup>。须家河组第四段( $T_{3xj}^4$ )厚 50~130 m,含煤 3~5 层,其中的  $K_7$ 、 $K_6$  煤层位于该段上部(两煤层相距约 7 m),煤层较稳定,厚 0.6~1.0 m,含 1~3 层 TONSTEIN;该段下部有薄煤层 1~3 层,煤层厚度小于 0.5 m,不含 TONSTEIN。煤的宏观煤岩类型为半暗一半亮型。煤级为肥煤和焦煤。

本文对区内 5 个剖面的  $K_7$ 、 $K_6$  煤层中共 5 层 TONSTEIN 进行了岩石学研究。对 13 件样品做了 X-衍射分析,化学组成测定。用等离子发射光谱、催化极谱、X 射线荧光光谱等方法测定了全部样品的稀土元素和另 20 种微量元素含量。对 2 件样品做了红外吸收光谱分析。

## 2 岩石学研究

### 2.1 宏观岩石特征

样品采自 5 个矿井内的  $K_7$ 、 $K_6$  煤层夹矸。TONSTEIN 呈褐黑色和黑色,少数呈褐色和棕色。断口贝壳状或参差状。抛光面上,致密型细腻均一,团粒一致密型中分布有大小不等的、颜色浅于基质的团斑,结晶型中可见到密集分布的白色斑晶。大部分煤层断面上,TONSTEIN 与煤分层接触界线清楚,仅  $K_7^6$  TONSTEIN 的局部与顶底板煤分层呈过渡接触关系。

### 2.2 微观岩石特征

#### 2.2.1 岩石结构类型

镜下研究确认,全部样品均属高岭石 TONSTEIN 大类。根据岩石结构特征,可以划分为三种类型的四种亚型;

a. 结晶型 TONSTEIN a<sub>1</sub> 结晶型 TONSTEIN,由大量结晶作用形成的高岭石晶体和较多的黑云母假像构成。(图版 I-1、2)

b. 致密型 TONSTEIN b<sub>1</sub> 致密(多晶)型 TONSTEIN,在隐晶质高岭石基质中分布有数量较多的高岭石晶体和长石、黑云母假像集合体。(图版 I-3) b<sub>2</sub> 致密(少晶)型 TONSTEIN,隐晶质基质中含有少量的、零星分布的高岭石晶体和假像集合体。

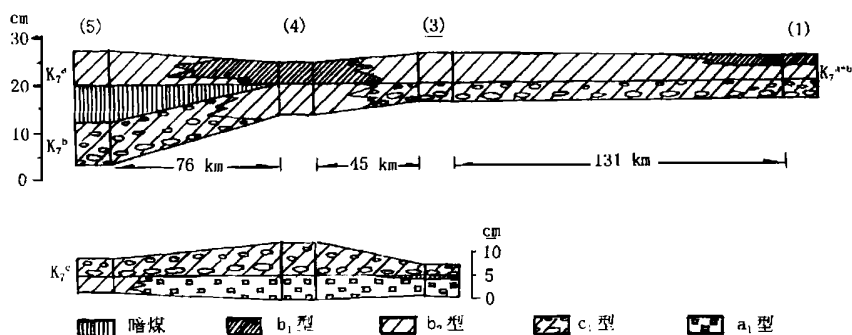


图 1  $K_7^a$ 、 $K_7^b$  和  $K_7^c$  TONSTEIN 岩石结构类型在剖面上的变化

(图版 I-4)

c. 团粒型 TONSTEIN  $c_1$  团粒一致密型 TONSTEIN, 隐晶质高岭石基质中分布有较多的具显微晶质的或光学性质均一的浅色团粒。团粒大多呈透镜状, 长轴平行层理排列。(图版 I-5)

本区 TONSTEIN 的岩石结构类型以致密型和团粒一致密型为主, 结晶型很少, 未见典型的假像型和团粒型 TONSTEIN。与华北石炭二叠纪和西南晚二叠世煤田中 TONSTEIN 的类型较相似, 但在过渡类型(亚型)上要比后者简单得多。<sup>[2,3]</sup>

## 2.2.2 副矿物

TONSTEIN 中的副矿物总量不足 3%。主要为尖棱角状的石英和  $\beta$  石英副像(图版 I-8), 其次为棱角状的透长石晶屑(图版 I-6)。锆石很少, 并以四方双锥柱体和细碎片形式存在。极少的磷灰石自形晶。在部分薄片见到有保存完好的火山玻璃气泡和气泡壁的残余结构(图版 I-7)。副矿物的特征与华北 C-P 和西南  $P_2$  地层中的 TONSTEIN 的副矿物很相像, 表明它们的原始物质都是酸性或中酸性火山灰。<sup>[2,3]</sup>

## 2.2.3 岩石结构类型在 TONSTEIN 剖面上的分布

5 层 TONSTEIN 的岩石结构类型及组合关系在剖面上的分布各具特点, 自上而下为:  $K_7^a$ 、 $K_7^b$  位于  $K_7$  煤层中上部, 在研究区中段和东段并为一层, 总厚度变薄, 但岩石结构类型仍具有两分的特点。西侧分为  $K_7^a$ 、 $K_7^b$  上、下两层, 其间隔有 8 cm 的暗煤薄层。(图 1)

$K_7^a$  为致密型, 其中所含高岭石晶体数量有一定变化: 剖面(4)和剖面(1)的上部含高岭石晶体和黑云母假像较丰富, 属致密(多晶)型, 其余为致密(少晶)型。

$K_7^b$  主要为团粒一致密型, 局部(剖面(4))成为致密(少晶)型。

$K_7^c$  位于  $K_7$  煤层下部和近底部, 在剖面(1)处未见到, 有可能延入该煤层的底板中。 $K_7^c$  的岩石结构类型显示两分的特点: 在剖面(3)的中上部夹有 8 mm 暗煤薄层, 将其分为上下两个分层, 上分层为团粒一致密型; 下分层以结晶型( $a_1$ )为主, 至剖面(5)变为致密(少晶)型(图 1)。

$K_6^a$  位于  $K_6$  煤层顶部, 厚 10 cm, 岩石结构为致密(少晶)型。 $K_6^b$  位于  $K_6$  煤层中部, 厚 11 cm, 显示三分结构组合; 上部 45 cm 和下部 25 cm 为致密(少晶)型, 中部 4 cm 为团粒一致密型。

上述表明, 不同层位的 TONSTEIN 具有不同的岩石结构类型和组合关系; 同层(或同分层)的岩石结构类型在区域上具有好的稳定性。这种特性在其它地区也同样存在<sup>[2,3]</sup>。

从大量的岩石薄片研究看出, TONSTEIN 的岩石结构类型与同沉积火山灰的物态构成直接相关。结晶型(包括假像型) TONSTEIN, 主要由晶屑(长石、黑云母等)火山灰形成; 致密型 TONSTEIN 主要由玻质火山灰形成, 而团粒型 TONSTEIN 则主要由石质(构成团粒)和玻质(构成基质)火山灰形成。即是说, 同一层 TONSTEIN 结构类型在空间上的变化实质是同沉积火山灰物态构成改变所致。

## 2.3 X-衍射和红外吸收光谱分析

X-衍射结果表明, 区内 TONSTEIN 的粘土矿物为有序度低的高岭石。石英含量很少。两件样品的红外吸收光谱与滇东宣威组( $P_{2x}$ )中  $C_6$  TONSTEIN 的谱线特征很相似, 而与结晶完好的苏州高岭石有一定区别<sup>[4]</sup>。主要是在高频区(3700~3000  $\text{cm}^{-1}$ )的两个强吸收峰间, 仅苏州高岭石多一个小峰(在 3655  $\text{cm}^{-1}$ 处); 在 1200~1000  $\text{cm}^{-1}$ 中频波段区间, TONSTEIN 样出现三个吸收峰, 苏州高岭石的三个吸收峰与此相同, 但在 1117  $\text{cm}^{-1}$ 处多了一个很锐的小峰。研究表明, 层状硅酸盐矿物的红外吸收光谱的吸收谱带特点与矿物晶体有序程度有

表 1 化学组成及地球化学特征值

TONSTEIN 层位	样 号	厚度 /cm	化 学 组 成										地化特征值	
			SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	灼减	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
			w / %											
K <sub>7</sub> <sup>a</sup>	87-1	5	51.31	1.07	43.02	0.44	0.11	0.12	0.12	0.45	0.23	18.78	1.19	0.010
	89-1	4	51.38	1.07	42.42	0.77	0.08	0.36	0.30	0.36	0.31	25.98	1.21	0.018
	84	7	51.98	0.96	42.87	0.52	0.08	0.12	0.16	0.35	0.30	22.44	1.21	0.012
K <sub>7</sub> <sup>a+b</sup>	81	10	53.29	1.17	38.75	0.70	0.18	0.54	0.28	1.12	0.42	23.31	1.38	0.018
K <sub>7</sub> <sup>b</sup>	87-2	4	51.97	0.89	42.06	0.50	0.14	0.21	0.08	0.45	0.37	27.00	1.24	0.012
	89-2	7	52.31	1.04	41.98	0.76	0.07	0.53	0.27	0.31	0.32	22.97	1.25	0.018
	83	9	52.07	0.69	43.58	0.37	0.12	0.18	0.13	0.24	0.50	28.70	1.19	0.009
K <sub>7</sub> <sup>c</sup>	80-1	2	57.10	2.80	30.97	0.70	0.28	1.09	—	—	0.24	21.96	1.84	0.023
	82-2	3.5	54.22	2.16	37.24	0.13	0.32	0.54	0.40	1.70	0.29	18.50	1.46	0.004
	88	12	54.66	1.73	39.76	0.43	0.14	0.33	0.32	0.36	0.36	40.20	1.37	0.011
	82	7	51.53	0.60	43.48	0.88	0.11	0.15	0.12	0.24	0.34	21.97	1.19	0.020
K <sub>6</sub> <sup>a</sup>	86	10	51.94	1.43	40.06	0.82	0.26	0.28	0.05	1.20	0.44	18.10	1.30	0.020
K <sub>6</sub> <sup>b</sup>	85	11	50.36	1.28	42.12	0.59	0.18	0.55	0.05	0.75	0.34	16.93	1.20	0.014

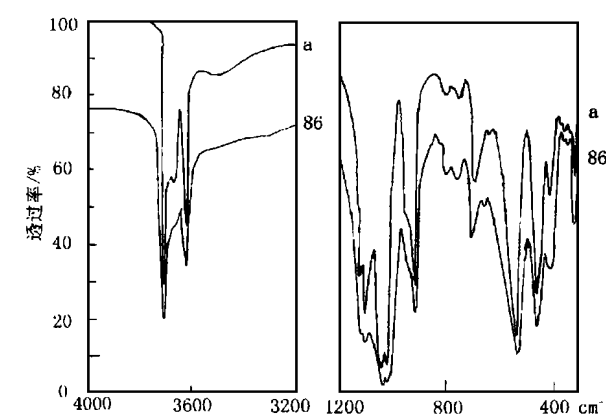


图 2 TONSTEIN( 86) 和苏州结晶完好高岭石( a) [4] 的红外吸收光谱

关:有序度高,谱带数目多,并且锐而强,分辨清楚;有序程度降低则谱带数减少,分辨变差[4]。TONSTEIN 的红外吸收光谱分析结果与 X-衍射分析结果一致。(图 2)

3 化学组成

表 1 列举了 13 件样品的化学组成测定结果。化学分析表明,TONSTEIN 中有机质含量高、变化大(约为 3%~25%),这与泥炭沼泽沉积环境有关。SiO<sub>2</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 占 93%左右, SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(质量)值大部分在 1.19~1.30 间,略高于高岭石的理论值(1.18),显示矿物质组成为较纯的高岭石,并含有少量游离的 SiO<sub>2</sub>(石英)。TiO<sub>2</sub> 含量 0.13%~0.88%, TiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(质量)值在 0.0226~0.0035 间,与酸性火山灰性质一致[5]。铁、镁、钙和碱金属氧化物含量很低。上述说明,在泥炭沼泽酸性介质条件下,沉积的火山灰物质已被彻底水解成稳定的高岭石粘土矿物;原始火山灰中含有碱金属、碱土金属的

大部分,已被浸析带出;火山灰中的少量石英屑则残留在新形成的粘土层中。

4 微量元素地球化学

微量元素测定结果列于表 2、表 3 中。其中, U、Th 用 X-射线荧光光谱, Sn 和 W 用催化极谱, 其余均用等离子发射光谱分析测定。

4.1 稀土元素

稀土元素含量(ΣTR)在 64×10<sup>-6</sup>~1 090×10<sup>-6</sup>,平均 400×10<sup>-6</sup>,含量变化大,平均含量较高。各层 TONSTEIN 的 REE 含量具有不同的特点:

K<sub>7</sub><sup>a</sup> 255.0×10<sup>-6</sup>~273.2×10<sup>-6</sup>,平均 265.1×10<sup>-6</sup>;

K<sub>7</sub><sup>b</sup> 647.1×10<sup>-6</sup>~1 090.4×10<sup>-6</sup>,平均 830.1×10<sup>-6</sup>;

K<sub>7</sub><sup>a+b</sup> 420.6×10<sup>-6</sup>,含量在 K<sub>7</sub><sup>a</sup> 与 K<sub>7</sub><sup>b</sup> 之间;

K<sub>7</sub><sup>c</sup> 153.4×10<sup>-6</sup>~430.1×10<sup>-6</sup>,平均 307.8×10<sup>-6</sup>,远低于与之相邻的 K<sub>7</sub><sup>b</sup> 的含量;

K<sub>6</sub><sup>a</sup> 64.2×10<sup>-6</sup>;

K<sub>6</sub><sup>b</sup> 318.3×10<sup>-6</sup>。

经球粒陨石标准化后的配分形式,均呈富轻稀土的右倾式;且随稀土总量增加,轻稀土富集程度增大(图 3)。

ΣCe 略显正异常;ΣEu 具强烈的负异常(0.12~0.37),且有从较低层位 K<sub>6</sub><sup>b</sup> 的 0.36 降至 K<sub>7</sub><sup>b</sup> 和 K<sub>7</sub><sup>a</sup> 的 0.2 左右,表明形成时代年轻的 K<sub>7</sub><sup>b</sup> 和 K<sub>7</sub><sup>a</sup> 的 Eu 亏损进一步增大。所研究的 TONSTEIN 的 REE 含量和配分形式均与 A 型花岗岩相似[8]。

图 3 还表明,不同层位的稀土配分曲线各具特点,可以用做鉴别 TONSTEINS 层位的标志。

表 2 稀土元素含量及地球化学特征值

TONSTEIN	样	厚度	REE														地球化学特征值			
层位	号	/cm	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣTR	$\frac{\Sigma LTR}{\Sigma HTR}$	δCe	δEu
K <sub>7</sub> <sup>a</sup>	87-1	5	50.7	113.0	10.5	44.5	10.0	0.46	8.0	1.3	8.0	1.6	3.8	0.5	3.0	0.3	255.0	8.9	1.12	0.158
	89-1	4	53.7	115.0	10.9	43.6	9.7	0.41	8.5	1.8	12.1	2.5	6.9	0.9	6.0	0.5	267.1	6.9	1.08	0.135
	84	7	64.3	125.0	11.0	42.1	8.9	0.63	6.5	1.1	6.8	1.3	3.0	0.3	2.1	0.2	273.2	11.8	1.03	0.244
K <sub>7</sub> <sup>a+b</sup>	81	10	84.9	177.6	17.6	68.7	14.5	0.71	14.7	2.7	17.7	3.6	8.8	1.3	7.0	0.8	420.6	6.4	1.05	0.148
K <sub>7</sub> <sup>b</sup>	87-2	4	223.0	491.0	49.5	200.0	41.4	1.40	27.1	4.3	25.6	4.8	11.2	1.5	9.1	0.5	1090.4	12.0	1.08	0.121
	89-2	7	129.0	284.0	28.6	115.0	24.2	1.10	18.1	3.1	20.0	4.0	9.8	1.2	8.3	0.7	647.1	8.9	1.08	0.155
	83	9	164.0	346.0	35.0	139.0	28.0	1.60	17.9	2.0	12.8	2.3	5.0	0.5	3.4	0.3	752.8	14.3	1.05	20.5
K <sub>7</sub> <sup>c</sup>	80-1	2	78.1	132.6	11.5	37.8	5.6	0.44	4.6	0.9	4.6	1.0	2.2	0.4	2.0	0.2	281.9	16.7	0.95	0.258
	80-2	3.5	43.9	107.9	11.8	51.6	11.5	1.02	9.1	1.1	4.3	0.7	1.6	0.2	1.1	<0.1	245.8	12.6	1.12	0.295
	88	12	79.9	186.7	19.3	82.7	18.8	2.02	13.9	1.9	11.8	2.3	5.4	0.7	4.3	0.4	430.1	9.6	1.10	0.366
	82	7	29.6	64.5	5.8	25.0	6.1	0.44	6.0	1.1	7.4	1.5	3.2	0.3	2.3	0.2	153.4	6.0	1.16	0.252
K <sub>6</sub> <sup>a</sup>	86	10	11.8	24.2	1.5	7.6	2.5	0.32	3.2	0.9	5.4	1.1	2.9	0.4	2.2	0.2	64.2	2.9	1.19	0.345
K <sub>6</sub> <sup>b</sup>	85	11	58.6	145.1	14.1	59.9	12.6	1.30	9.1	1.5	8.0	1.6	3.7	0.5	3.0	0.3	318.3	10.5	1.18	0.355

表 3 微量元素含量及地球化学特征值

		元素															地球化学特征值			
TONSTEIN	样 厚度																			
层位	号 /cm	Li	Be	Sc	Y	Zr	Th	U	Ti	V	Cr	Ni	W	Mo	Cu	Zn	Ga	$\frac{Ga \cdot 10^4}{Al}$	$\frac{Y}{TR}$	$\frac{Ti}{Y}$
K <sub>7</sub> <sup>a</sup>	87-1 5	115.2	5.7	2.8	33.3	189.4	68.0	11.0	2387	3.5	6.8	4.1	3.2	<4.0	50.1	82.3	58.4	3.1	0.13	72
	89-1 4	150.3	5.9	7.1	66.3	274.5	74.0	8.0	4523	24.6	14.9	4.2	6.8	4.5	39.5	44.1	52.8	2.8	0.25	68
	84 7	181.3	4.5	3.1	29.6	147.8	40.0	13.0	2817	9.0	9.6	<4.0	9.7	<4.0	38.3	34.7	52.3	3.3	0.11	95
K <sub>7</sub> <sup>a+b</sup>	81 10	175.1	8.8	6.3	84.2	642.0	97.0	15.0	4484	19.4	16.6	5.7	8.3	<4.0	37.4	60.6	54.2	2.6	0.20	53
K <sub>7</sub> <sup>b</sup>	87-2 4	99.4	6.6	5.1	98.6	397.4	135.0	28.0	2552	3.7	4.3	7.1	3.8	<4.0	46.3	112.8	44.7	2.8	0.09	26
	89-2 7	147.8	6.3	8.9	93.3	335.1	95.0	14.0	4329	23.8	15.2	<4.0	6.5	10.0	42.4	31.4	51.1	2.4	0.14	46
	83 9	146.5	4.6	6.4	49.0	267.3	77.0	11.0	1917	6.2	8.8	<4.0	4.0	<4.0	43.7	29.3	46.9	3.0	0.07	39
K <sub>7</sub> <sup>c</sup>	80-1 2	/	/	9.6	22.5	/	30.0	9.0	3779	/	/	/	8.4	/	/	/	/	/	0.09	177
	80-2 3.5	197.5	4.4	4.1	17.3	88.3	29.0	<5.0	1030	7.7	11.3	6.2	2.0	6.6	34.7	36.3	46.4	2.5	0.07	60
	88 12	160.8	6.2	12.0	49.3	253.8	57.0	10.0	2415	6.2	20.1	7.2	4.6	<4.0	39.6	28.8	39.5	2.6	0.12	49
	82 7	167.0	4.3	5.9	33.0	332.0	61.0	12.0	4799	12.2	9.2	<4.0	6.8	5.9	31.1	43.3	55.9	3.0	0.22	145
K <sub>6</sub> <sup>a</sup>	86 10	166.1	4.6	4.3	31.1	206.7	55.0	7.0	3760	15.6	11.5	11.8	6.5	4.7	21.9	16.9	58.5	3.8	0.48	121
K <sub>6</sub> <sup>b</sup>	85 11	283.2	3.6	13.8	32.0	251.5	68.0	8.0	3437	19.0	6.7	4.2	3.7	8.2	46.9	118.1	37.7	1.8	0.10	107

4.2 其他微量元素

TONSTEINS 的亲石元素 Li、Be、Sc、Y、Zr、Th、U，铁族元素 Ti、V、Cr、Ni，钨钼族元素 W、Sn、Mo 和亲铜元素 Cu、Zn、Ga 等，其含量和组合关系

明显具有酸性岩的特点(表 3)。其中，Be、W、Sn 和 Ga 的含量还成倍高于花岗岩或酸性岩的平均值，而与华南燕山期花岗岩的含量相近<sup>[6]</sup>。

此外，一些在表生作用带内稳定的微量元素如 Y、Zr、Th、Ga、Ti 等，与 REE 的情况一样，其含量或组合关系具有从属于一定层位的特点，能够用于鉴别层位(图 4)。TONSTEINS 的这一重要特性，已在其它地区见到<sup>[9]</sup>，表明其具有一定的普遍性，值得关注并做深入的研究。

5 结论

川南须家河组第四段中的主采煤层 K<sub>7</sub>、K<sub>6</sub>，共含有 5 层质地较纯的高岭石粘土岩夹研(TINSTEIN)。其岩石结构类型以致密型和团粒一致密型为主，结晶型较少，未见典型的假像型。每层(或分层)TONSTEIN 的岩石结构类型在区域上有一定变化。镜下研究表明，岩石的结构类型的区别主

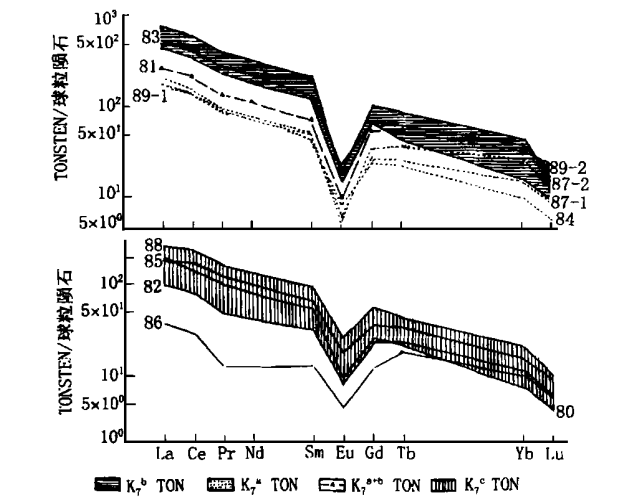
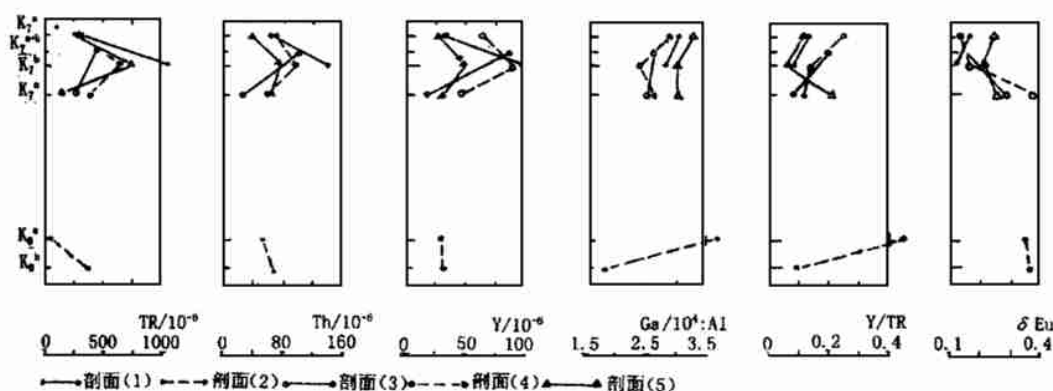


图 3 TONSTEIN 的 REE 配分曲线图

图 4 TONSTEINS 的 TR、Th、Y 含量及  $G_a \cdot 10^4 / Al$ 、Y/TR 和  $\delta_{Eu}$  值对比图

要是原始物质火山灰的物态不同的反映。TONSTEINS 中普遍存在的长石、黑云母假像以及少量的  $\beta$ -石英副像和透长石、锆石晶体,化学组成上的低钛含量和低的  $\text{TiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  的比值,都证实了原始物质为酸性火山灰。

TONSTEINS 中的 30 余种微量元素含量和组合关系同样具有鲜明的酸性岩浆的特点。其中主要是大离子亲石元素的含量及组合关系表现出从属一定层位的某些特征,并在区域上保持稳定。将岩石学标志和微量元素标志结合起来鉴别层位,能够提高层位对比的可靠性。事实证明,TONSTEIS 可以作为建立年代地层格架的一级标志层。

在  $T_3x_j^{41}$  上段的不足 10 m 的含煤地层内, 记录了 5 层以上的火山灰沉积物, 以及它们的侧向分布范围远超出研究地区的事实, 说明了晚三叠世中期四川盆地外围火山活动频繁而强烈。从原始物质性质、分层厚度和分布范围看出, 该时期的火山喷发活动普遍具有普林尼型 (Plinian) 的特征<sup>[7]</sup>。

## 参考文献

- 1 杨光荣. 四川盆地上三叠统组段的划分与对比. 川煤地勘, 1996; (12): 13~24
- 2 冯宝华. 我国北方石炭—二叠纪火山灰沉积水解改造而成的高岭岩. 沉积学报, 1989; (1): 101~108
- 3 Zhou Yiping, Ren Yuliang, Bohor B F. Origin and distribution of tonsteins in Late Permian coal seams of southwester China. Int. J. Coal Geol., 1982; (2): 49~77
- 4 韩秀玲, 陈开惠. 高岭石—多水高岭石演化系列的红外吸收光谱研究. 地质科学, 1982; (1): 71~79
- 5 Addison R, Harrison R K, Lamd D H, Young B R. Volcanic tonsteins form Tertiary coal measures, east kalimantan, Indonesia. Int. J. Geol., 1983; (3): 1~30
- 6 刘英俊等. 元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1984: 548
- 7 Francis E H. Recent ash fall: A guide to tonstein distribution. C. R. 10th Congr. Int. Strat. Geol. Carbon., 1985; 4: 188~195
- 8 邢雪芬, 唐瑞清. 康滇地轴中段印支—燕山期花岗岩特征及成因探讨. 岩石矿物, 1990; 10(1): 52~60
- 9 周义平, 任友谅. 滇东黔西晚二叠世煤系中火山灰蚀变粘土岩元素地球化学特征. 沉积学报, 1994; (2): 28~38

(收稿日期 1999-02-09)

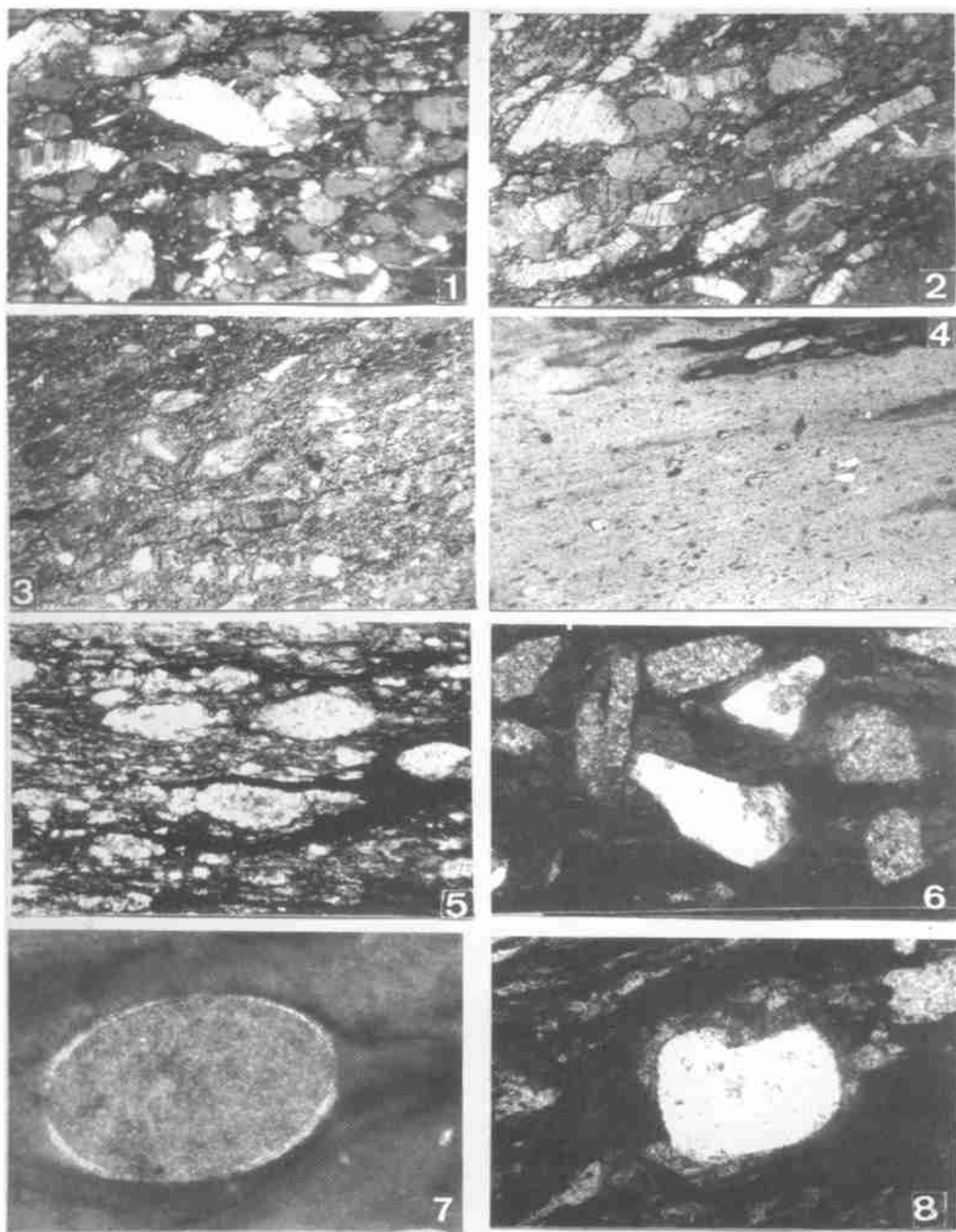
# PETROLOGIC AND GEOCHEMIC CHARACTERISTICS OF TONSTEIN IN THE 4<sup>TH</sup> INTERVAL OF XUJIAHE FORMATION IN SOUTHERN SICHUAN

Kurt Burger<sup>1</sup> Ren Youliang<sup>2</sup> Zhou Yiping<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>.Ruhr Kohle AG    <sup>2</sup>.Colorado School of Mines USA    <sup>3</sup>.Kunming Institute of Coal Science)

**Abstract** Five seams of mudstone from the 4<sup>th</sup> interval ( $T_3xj^4$ ) of Xujiahe formation in Southern Sichuan were geochemically and petrologically researched in detail. Results have shown that the TONSTEINS are all synsedimentary acid volcanic ash, which were turned to relatively pure kaolinitic mudstone through hydrolysis and diagenesis in peat moor environment. For these mudstones the types of lithological texture are relatively simple, dominated by compact or crumbly—compact textures. The types of lithological texture, the content of lithophile elements and their composite relations are stable in large area. They are very important marked beds for regional coal—seam correlation and for chronostratigraphic framework establishment.

**Keywords** TONSTEIN; petrology; geochemistry; Late Triassic epoch; Southern Sichuan



## 图版说明:

- 图1  $K_7^c$  TON, 样 80-2, 结晶型, 1/4 偏光, 图长 1.55 mm。
- 图2  $K_7^c$  TON, 样 88(下部), 结晶型, 1/4 偏光, 图长 1.55 mm。
- 图3  $K_7^{a+b}$  TON, 样 89-1, 致密(多晶)型, 1/4 偏光, 图长 1.55 mm。
- 图4  $K_7^{a+b}$  TON, 样 87-2, 致密(少晶)型, 1/4 偏光, 图长 1.55 mm。
- 图5  $K_7^b$  TON, 样 83, 团粒-致密型, 1/4 偏光, 图长 1.55 mm。
- 图6  $K_7^c$  TON, 样 84, 部分高岭石化的透长石晶屑(浅色部分)被长石假像围绕, 1/2 偏光, 图长 0.4 mm。
- 图7  $K_7^b$  TON, 样 83, 高岭石基质中的一完整的火山玻璃气泡, 3/4 偏光, 图长 0.16 mm。
- 图8  $K_7^{a+b}$  TON, 样 81, 浑圆状  $\beta$ -石英副像, 具液相包体, 正交偏光, 图长 0.4 mm。