

# 西藏江孜地区海相白垩系铁赋存状态 及古海洋意义

陈曦<sup>1)</sup>, 王成善<sup>1)</sup>, 胡修棉<sup>2)</sup>, 黄永建<sup>1)</sup>

中国地质大学青藏高原地质研究中心, 北京, 100083;

南京大学地球科学系, 南京, 210093

**内容提要:**白垩纪黑色页岩至大洋红层的转变, 预示着古海洋氧化还原条件及海洋—气候系统的改变。海相白垩纪黑色页岩与大洋红层在我国西藏江孜地区广泛发育, 其中床得剖面已经成为海相白垩系研究的经典剖面之一, 根据岩性的不同以及剖面上所表现出的风化色差异, 床得剖面自底部至顶部可分为黑层段、白层段和红层段等岩性单元。本文以床得剖面为代表, 分析了江孜海相白垩系黑色页岩至大洋红层样品中铁、铝含量、 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  比值的变化规律、铁的富集特征及其漫反射光谱特性。红层的铁、铝含量及  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  比值均远高于其它层位。红层中铁铝含量呈线性相关, 认为红层中的铁元素主要来源于陆源输入, 铁在红层中富集, 是由于陆源输入的增加造成。而黑层和白层中铁铝相关系数很低, 可能的解释是由于这两个层段中常见的黄铁矿化结核而导致铁的流失。漫反射光谱学实验显示黑层段和白层段下部的漫反射光谱略显 435 nm 处针铁矿特征峰值, 白层段上部反射光谱的峰值不明显, 而红层样品在波长 565 nm 处呈现赤铁矿特征峰值。因而, 在红层中铁矿物主要以赤铁矿形式存在, 而黑层和白层下部有针铁矿存在, 在白层上部没有高价态铁矿物。床得剖面的红层段铁富集程度很高, 黑层段和白层下部铁相对较为富集, 而在白层上部, 铁呈亏损状态。综合以上研究结果, 我们认为江孜地区红层沉积时期大洋底层水为富氧状态, 而黑层和白层下部可能为弱氧化状态, 大洋缺氧沉积出现于白层上部。

**关键词:** 白垩系; 铁; 古海洋; 江孜; 西藏

白垩纪作为地质历史中一个极为特殊的时期, 在科学研究中具有重要的地位, 其全球性海平面变化、全球分布的富有机质的黑色页岩、碳酸盐台地的沉没以及全球性火山作用和与之有关的极端温室气候、碳旋回等地学现象一直是近几十年来地学界关注的热点 (Barrera et al., 1999; 马宗晋等, 2001)。近年来, 人们发现在富有机质黑色页岩之上, 全球范围内分布着一套晚白垩世大洋红层 (Hu et al., 2005)。黑色页岩的形成原因在于大洋缺氧事件 (Jenkyns, 1980) 及有机质大规模埋藏 (Arthur et al., 1994), 而大洋红层则是大洋底层水氧化所致 (Wang et al., 2005)。从黑色页岩至大洋红层的转变, 暗示着白垩纪古海洋氧化还原条件和海洋—气候系统的变化。了解黑色页岩向大洋红层的转变机制, 对于全面认识白垩纪古海洋变化具有重要意义。大洋红层呈现红色的根本原因是由于岩石中细小的、分散状赤铁矿致色 (胡修棉等, 2006; Hu et al.,

2006)。铁是变价元素, 在不同的氧化还原条件下可表现为不同的价态和矿物组合, 因而分析铁在黑色页岩至大洋红层中的分布特征, 可初步判断水体的氧化还原条件, 对于了解黑色页岩向大洋红层的转变机制极为关键。白垩纪黑色页岩和大洋红层在西藏南部江孜地区均有广泛的出露, 其中江孜床得剖面出露的白垩纪地层尤为连续和完整, 成为我国特提斯域海相白垩系研究的一条经典剖面。本文在对床得剖面野外观察和室内实验的基础上, 分析其铁、铝元素地球化学特征, 并进一步探讨铁在地层中的分布特性、铁的主要来源、矿物学特征及其所蕴含的古海洋学意义。

## 1 区域背景

我国海相白垩系以藏南特提斯喜马拉雅带出露最为完整, 它是位于高喜马拉雅结晶单元北界与印度—雅鲁藏布江缝合带之间的一个地质构造单元

注: 本文为国家“973”计划项目(编号 2006CB701400)和国家自然科学基金重点项目(编号 40332020)资助的成果。

收稿日期: 2007-08-28; 改回日期: 2007-11-02; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 陈曦, 男, 1983年生。博士, 研究方向为沉积学。通讯地址: 100083, 北京学院路29号; 电话: 01082322171; Email: chnhcx@126.com。

(图1),以定日—岗巴大断层为界分为特提斯喜马拉雅南亚带和特提斯喜马拉雅北亚带。江孜地区在构造上属特提斯喜马拉雅北亚带,海相白垩系在该地区广泛发育。经过多次地层厘定,目前对江孜地区白垩系的岩石地层有了清楚的认识。江孜地区海相白垩系可分为3个组:加不拉组、床得组和宗卓组(王成善等,2000)。但由于微体古生物带化石的缺乏,故而在时代上不能完全确定,尚没有建立精确的年代地层格架。

床得剖面是海相白垩系连续剖面,也是床得组的建组剖面,多年来获得较高的研究程度。在3个组的基础上,根据岩层的风化色,床得剖面自下而上又可分为四个岩性段(图1),分别为黑层段、白层段、红层段及滑塌层段(王成善等,2000)。床得剖面

各个层段的时代也不是十分明确,从整个区域岩层对比来看,黑层段的时代主要从 Berriasian 至 Cenomanian 早期,白层段从 Cenomanian 至 Santonian,红层为 Campanian 早、中期(王成善等,2000)。笔者于2004年重测剖面,从黑层底部至红层顶部的厚度为197m。其中0~63m为黑层段,63~168m为白层段,168~197m为红层段。其中黑层和白层中常见黄铁矿结核和黄铁矿浸染现象(王成善等,2000)。

## 2 材料与方法

所有样品均采自于江孜床得剖面,其中黑层段及白层段样品均由笔者于2004年采集而来,从床得剖面的J/K界线处开始,直至白层段顶部止。红层

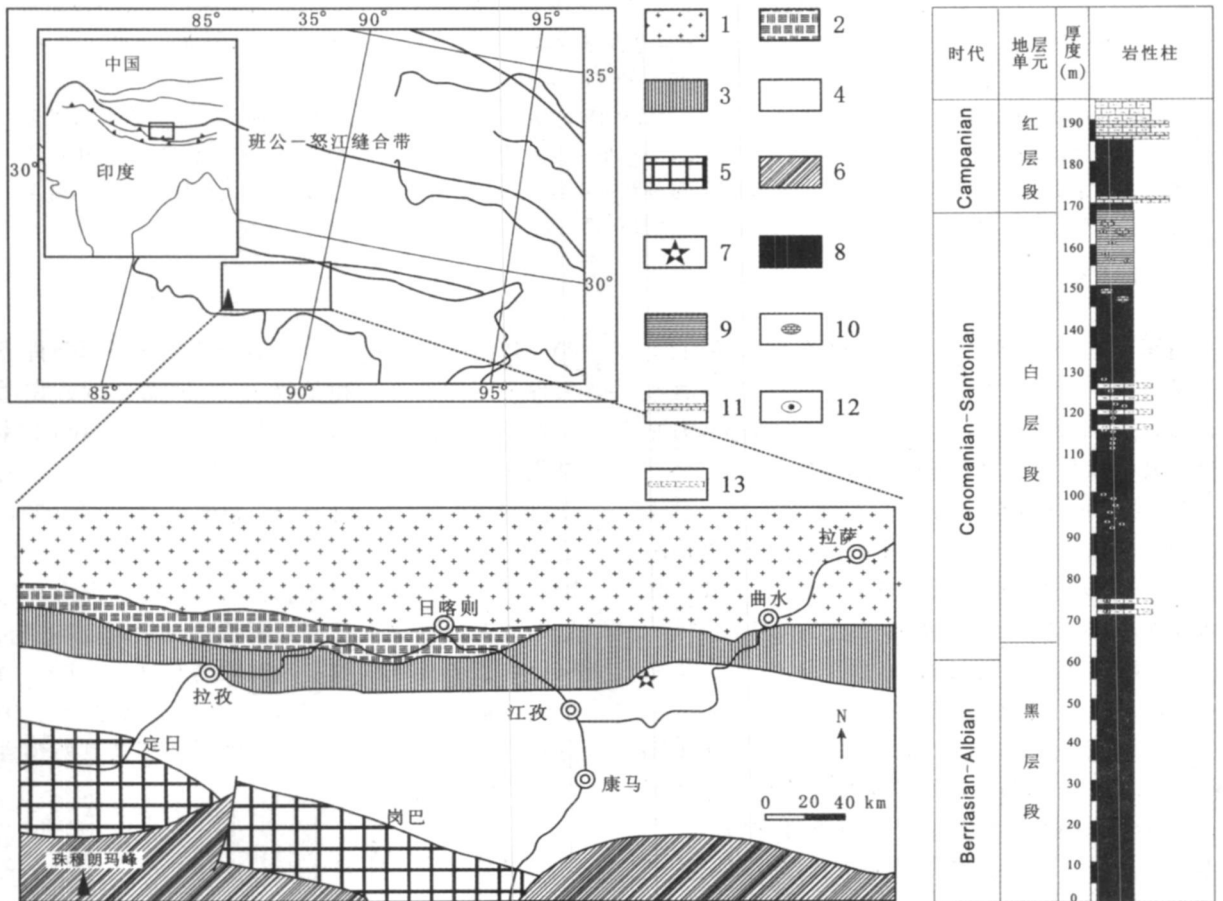


图1 藏南中部地质简图及床得剖面位置和岩石地层

Fig. 1 Generalised geological map of the central part of southern Tibet and the position and lithology of the Chuangde section

- 1—冈底斯岩浆岩弧; 2—日喀则弧前盆地; 3—雅鲁藏布江缝合带; 4—特提斯喜马拉雅北带; 5—特提斯喜马拉雅南带;  
 6—结晶喜马拉雅带; 7—床得剖面位置; 8—页岩; 9—硅质泥岩; 10—枕状灰岩; 11—灰岩; 12—结核; 13—泥灰岩薄层  
 1—Gangdese magnetic arc zone; 2—Xigaze forearc basin; 3—Yarlung Zangbo Suture zone; 4—Northern Subzone of Tethyan Himalayas;  
 5—Southern Subzone of Tethyan Himalayas; 6—Crystalline Himalayan zone; 7—Position of Chuangde section; 8—Shales;  
 9—Cherty mudstones; 10—Limestone nodulars; 11—Limestones; 12—Concretions; 13—Marls

样品为 2002 年采集。本文主要研究铁和铝的分布特征、铁与铝之间的相关关系、 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  比值变化规律及不同层段的铁矿物特征。对所采得的样品, 通过常量元素分析获得其铁、铝含量及 FeO 含量。同时, 由于针铁矿和赤铁矿等铁矿物具有各自不同的漫反射光谱习性 (Deaton et al., 1991), 本文通过漫反射光谱分析, 得出不同的样品随入射光波长变化而呈现的谱线, 以判别不同层段的主要铁矿物。由于白层顶部为一厚约 20 m 的硅质岩, 风化作用及后期改造作用较为强烈, 导致其实验结果不尽可信, 本文也避开对这一段地层相关分析的讨论。

分别对 89 个样品应用 XRF 法分析获得其常量元素含量。实验在南京大学分析中心完成。实验取样品 0.6 g, 助熔剂 6.6 g, 置入铂金坩锅中, 在高温下熔融成玻璃状熔片, 处理好的样品在 X 射线荧光光谱仪中进行测试, 获得包括铁、铝在内的多种常量元素质量百分含量。该方法测得的实验结果实际是  $Fe_2O_3$  的质量百分数, 可根据化学式计算得出铁离子  $Fe^{x+}$  的百分含量。此外, 在红层中有 12 个样品的铁、铝元素含量为 2002 年实验数据。

对相应的样品采用氧化还原滴定法测定其 FeO

含量。实验用重铬酸钾作滴定剂, 采用二苯胺磺酸钠作为指示剂指示终点。本次实验所需样品约 0.3 g, 在硫酸介质(硫酸以 1 : 1 配制)中打开样品, 高温下滴定进行反应, 反应结束指示剂显紫色。在获得 FeO 含量的基础上, 可根据化学式计算得出  $Fe^{2+}$  的百分含量。再以  $Fe^{x+}$  的百分含量减去  $Fe^{2+}$  的百分含量, 则可求知  $Fe^{3+}$  的含量。

分别取 14 个黑层段样品、15 个白层段样品及 17 个红层段样品进行了漫反射光谱学研究。实验在南京大学表生地球化学实验室完成, 测量仪器是美国 Pekin-Elmer 仪器公司生产的 Lambda 900 型紫外/可见/近红外分光光度计, 其测量范围从可见光 (VIS: 400 ~ 700 nm) 直至近红外 (NIR: 700 ~ 2500 nm) 波段, 所测数据波长间隔为 2nm。本文主要利用 400 nm 到 700 nm (可见光部分) 之间的数据进行铁矿物研究。在数据处理时, 我们选择波长间隔 10 nm 的两反射光谱值之差除以其波长间隔 10 nm, 以获得反射光谱的一阶导数曲线。因为沉积物的反射光谱一阶导数曲线中峰与谷的不同位置可以代表不同的沉积组成和矿物。波长间隔定在 10 nm 在于降低因波长间隔太小而带来的误差。

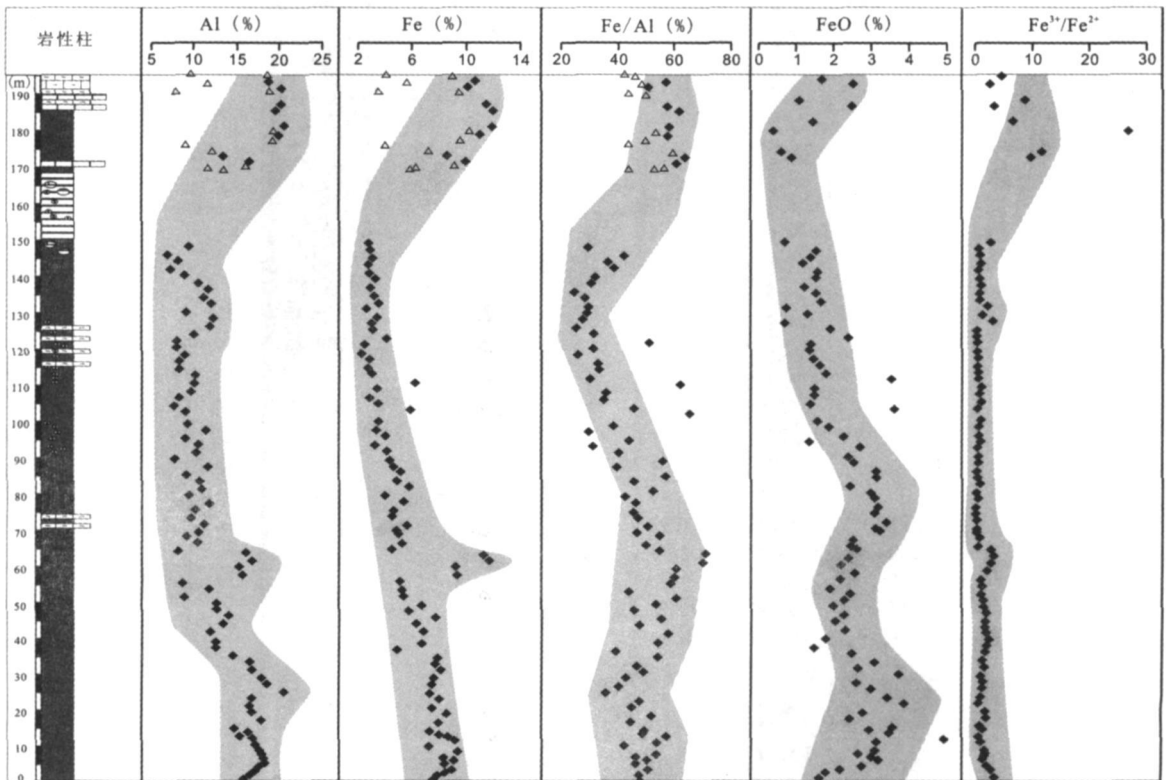


图 2 床得剖面铁、铝元素含量及其变化趋势(注: 图中三角形符号为 2002 年实验数据)

Fig. 2 Content of Fe, Al in the samples of Chuangde section (The triangles are the results tested in 2002)

续表 1

## 3 结果

通过实验测试得到样品中铝、全铁和氧化亚铁的含量(表 1), 从中可以得到如下规律。其中 04CD001 至 04CD062 为黑层段样品, 04CD063 至 04CD146 为白层段样品, CD052 至 CD36W3 为红层段样品, CD190 为滑塌层样品。

表 1 床得剖面样品中铁铝含量 (▲2002 年测试数据)

Table 1 Contents of Fe and Al in the samples of Chuangde section. (Triangles are the results tested in 2002)

样品编号	厚度(m)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)
04CD001	0.2	15.70	7.55	1.59
04CD002	1.4	16.48	7.79	1.78
04CD003	2.2	17.16	8.45	2.16
04CD004	3.2	17.56	8.83	2.74
04CD005	4.8	18.31	8.40	3.19
04CD006	5.8	18.18	9.04	3.02
04CD007	6.8	17.92	8.31	2.67
04CD008	7.8	17.58	9.34	3.07
04CD009	9.5	17.12	7.20	3.13
04CD010	11.1	16.93	9.02	4.93
04CD011	12.1	15.33	8.72	3.49
04CD012	13	16.42	7.98	2.95
04CD013	14.2	14.76	7.26	3.57
04CD015	16.5	17.91	7.98	2.42
04CD017	18.5	16.71	8.58	2.79
04CD019	20.5	16.56	7.45	3.85
04CD021	22.5	16.72	7.92	3.44
04CD023	24.5	20.53	7.31	2.99
04CD025	26.5	18.56	7.50	2.60
04CD027	28.5	17.86	7.61	3.76
04CD029	30.5	16.78	8.12	2.67
04CD031	32.5	16.45	7.69	3.09
04CD033	34.5	14.47	7.81	2.49
04CD035	36.5	12.44	4.84	1.47
04CD037	38.5	12.48	6.73	1.77
04CD040	41.5	11.85	6.82	2.30
04CD042	43.5	13.34	6.34	2.03
04CD044	45.5	14.05	7.70	2.25
04CD046	47.5	12.65	5.72	1.99
04CD048	49	12.63	6.72	2.31
04CD050	51	8.89	5.39	2.42
04CD052	53	11.76	5.16	1.92
04CD054	55	8.62	5.04	2.19
04CD056	57	15.63	9.30	2.55
04CD058	59.3	15.21	9.18	2.23
04CD060	61	16.78	11.70	2.39
04CD062	63	15.95	11.26	2.63
04CD063	64	8.12	4.41	2.49
04CD065	66	10.43	5.18	2.53
04CD067	68	9.06	4.92	3.20
04CD068	69	10.46	4.90	3.14
04CD070	71	11.17	5.60	3.37
04CD072	73	9.62	4.48	3.10
04CD074	75	10.14	4.61	3.18
04CD076	77	11.71	5.39	3.10

样品编号	厚度(m)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)
04CD078	79	9.41	3.99	3.02
04CD080	81	10.93	5.66	2.44
04CD082	83	10.58	4.80	3.14
04CD084	85	9.09	5.14	3.11
04CD086	87	11.68	4.62	2.53
04CD088	89	7.78	4.31	2.40
04CD090	91	10.23	4.10	2.71
04CD092	93	10.54	3.27	1.35
04CD094	95	9.03	3.98	2.24
04CD096	97	11.41	3.39	1.86
04CD098	99	9.23	3.53	1.55
04CD100	102.2	8.96	5.85	3.62
04CD102	104	7.67	3.49	1.40
04CD104	106	8.26	2.88	1.47
04CD106	108	9.64	3.40	1.49
04CD108	110	10.06	6.20	3.50
04CD110	112.2	10.13	3.02	1.77
04CD112	114	8.22	2.69	1.60
04CD114	116.2	8.27	2.72	1.43
04CD116	118.2	8.91	2.31	1.36
04CD118	120.2	7.98	2.50	1.41
04CD120	122.2	8.05	4.08	2.40
04CD122	124	9.99	3.10	1.90
04CD124	126	11.83	3.02	0.68
04CD126	128	12.25	3.38	1.29
04CD128	130	9.09	2.63	0.73
04CD130	132	12.021	3.51	1.67
04CD132	134	11.15	3.14	1.53
04CD134	136	11.62	2.89	1.20
04CD136	138	10.51	3.26	1.50
04CD138	140	8.87	2.8	1.57
04CD140	142	7.21	2.78	1.18
04CD142	144	8.17	3.01	1.41
04CD144	146	6.88	2.89	1.52
04CD146	148	9.34	2.75	0.68
▲CD052	169.15	13.56	5.94	2.33
▲CD053	169.22	11.60	6.08	1.04
▲CD056	169.8	16.07	9.07	0.93
C D063	171.2	16.52	9.93	0.85
C D071	172.8	13.42	8.51	0.62
▲CD077	174	12.08	7.22	1.17
▲CD086	175.8	9.00	3.93	1.10
▲CD092	177	19.14	9.56	1.75
C D100	178.6	19.89	11.43	0.38
▲CD105	179.6	19.22	10.22	1.33
C D113	181.2	20.54	11.87	1.43
C D133	185.2	19.45	11.93	2.49
C D142	187	20.08	11.53	1.09
▲CD158	190.2	18.85	9.37	2.25
▲CD35W 2	190.3	7.82	3.43	1.68
C D166	191.8	20.22	10.13	2.50
▲CD36W 2	192.5	11.61	5.62	1.50
C D174	193.4	18.72	10.61	1.68
▲CD187	196	18.78	8.54	2.57
▲CD36W 3	196.1	9.67	4.12	2.07
C D190	197.6	8.01	6.28	4.07

### 3.1 铁、铝元素的分布特征

除硅质岩段外, 整个剖面内铁元素平均含量 6.21%, 最高为 11.93%, 出现在 185.2 m 处, 最低为 2.31%, 出现于 118.2 m 处。而除红层外, 铁含量最高出现于黑层顶部 61 m 处, 可达 11.70%。铁含量从黑层段至白层段一直显下降趋势, 每一层段内部铁含量变化幅度小, 而在 61~63 m, 即黑层顶部与白层界线处铁含量变化较大, 出现一次峰值。在红层底界处出现另一次跃升, 169.15 m (CD052) 处样品中铁含量从 2.75% 骤升到 5.94%。

样品中铝元素的含量高于铁含量, 平均可达 13.06%, 最高含量为 20.53%, 出现于 24.5 m 处, 最低为 6.88%, 出现于 146 m 处。而其整体变化趋势与铁含量变化趋势极为相似, 从黑层至白层含量变化曲线显示为降低的趋势, 而在红层内上升到最高。铝含量同样表现出变化幅度不大的特征, 至黑层顶部与白层界线处, 含量出现峰值, 达到 16% 左右, 但铝含量在黑层内最高含量并不出现于顶部与白层界线处, 而是在黑层中部, 从 0~32.5 m 之间, 所有样品铝含量在 15% 以上, 且绝大多数在 16% 以上。白层内铝含量平均保持在 10% 左右。平均铝含量在红层内达到 15.81%, 大多数样品铝含量高于 18%。

虽然 2002 年的实验结果显示, 红层段有部分样品的 Fe、Al 含量较低, 但结合两组数据来看, 铁和铝含量在红层中含量较高, 且变化幅度不大。

### 3.2 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 的分布规律

黑层中  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  的平均值为 1.8。其最大值为 3.5, 出现于 61 m 处, 最小值为 0.9, 出现于 28.5 m 处, 为黑层的中部。白层中  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  的平均值约 0.9, 其最大值为 3.1, 出现于 126 m 处, 最小值仅 0.2, 出现于 79 m 处。红层中  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  的平均值为 9.4, 远高于其它层位。其最大值为 26.8, 出现于 178.6 m 处, 最小值为 2.7, 出现于 191.8 m 处。整体而言, 从黑层至红层的  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  比值变化规律明显, 黑层至白层顶部  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  呈缓慢下降趋势, 在黑层顶部有一较小的峰值。红层中  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  表现为大幅度跃升。

### 3.3 Fe/Al 比值及铁与铝相关关系分析

黑层中 Fe/Al 平均值为 0.51。黑层中 Fe/Al 比值从底部向上逐渐降低, 至 24.5 m 处达到最小值 0.36, 随后又不断上升, 至本层顶部 63 m 处达到最大值 0.71。白层中 Fe/Al 的平均值为 0.40。从底部至顶部呈现不断降低的变化趋势, 其最小值为 0.25, 出现于 136 m 处, 最大值为 0.65, 出现于 102 m 处。相对而言, Fe/Al 比在黑层中较高, 且变化趋

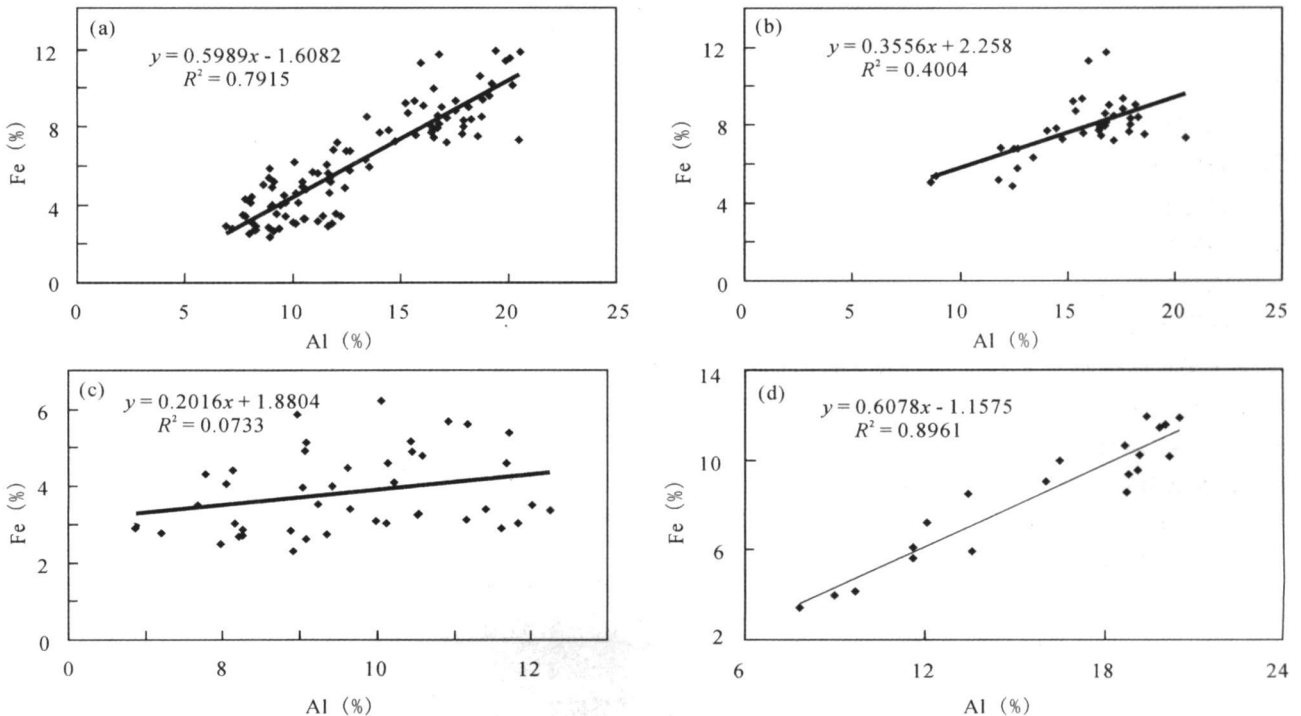


图 3 床得剖面及不同层段铁、铝相关关系

Fig. 3 Relationship of Fe and Al in different units of Chuangde section

势不明显。Fe/Al平均值为0.52。最大值为0.63, 出现于172.8 m处, 最小值为0.38, 出现于191.8 m处。Fe/Al比值在剖面上变化也呈现出明显的规律性, 从黑层至白层顶部 Fe/Al 比值逐渐下降, 至红层出现较大幅度的跃升, 而最大峰值出现于黑层顶部。

整条剖面铁与铝的相关系数约为0.8(图3 A)。在黑层和白层中, 铁与铝相关系数很低(图3 B, C), 但在红层中, 二者相关性明显, 相关系数约为0.9(图3 D)。由于沉积岩中, 铝主要来源于陆源碎屑, 因而在红层中铁含量较高是由于陆源碎屑输入增加造成的。

### 3.4 漫反射光谱特征

本次研究分别对床得剖面黑层14个样品、白层15个样品及红层17个样品进行了漫反射光谱学分析。得出如下认识: 黑层样品的漫反射光谱一阶导数曲线, 在波长为435 nm和500 nm处达到峰值。所有样品漫反射光谱一阶导数在435 nm处均达到其峰值, 极少数样品在500 nm处的谱线较为紊乱。白层段的大多数样品在435 nm处达到峰值, 而在500 nm处的峰值不明显。白层上部某些样品, 如04CD125, 在435 nm处也不显示峰值特征。红层中所有样品的光谱一阶导数曲线表现得完全一致, 仅有一个峰值在565 nm处。

## 4 讨论与结论

江孜地区海相白垩系全铁含量在红层中最高, 白层最低, 在黑层顶部达到一个峰值。铝与铁的整体变化趋势极为相似, 从黑层至白层含量变化曲线显示为降低的趋势, 而在红层内上升到最高, 在各层段内部呈均变特征。

沉积岩中铝元素主要来源于陆源碎屑输入, 且成岩作用对样品中铝元素的迁移几乎没有影响。因而分析样品中铁、铝之间的相互关系, 可以近似确定铁是否为陆源输入。通过对床得剖面的铁铝关系分析, 认为红层中的铁元素主要来源于陆源输入, 铁在红层中富集, 是由于陆源输入的增加造成。而黑层和白层中铁铝相关系数很低, 可能的解释是由于这两个层段中常见的黄铁矿结核而导致铁的流失。

整体而言, 从黑层至红层的  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  比值变化规律明显, 黑层至白层顶部  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  呈缓慢下降趋势, 在黑层顶部有一较小的峰值。红层中  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  表现为大幅度跃升。红层中  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  的平均值远高于其它层位。因而保存在红层中的铁

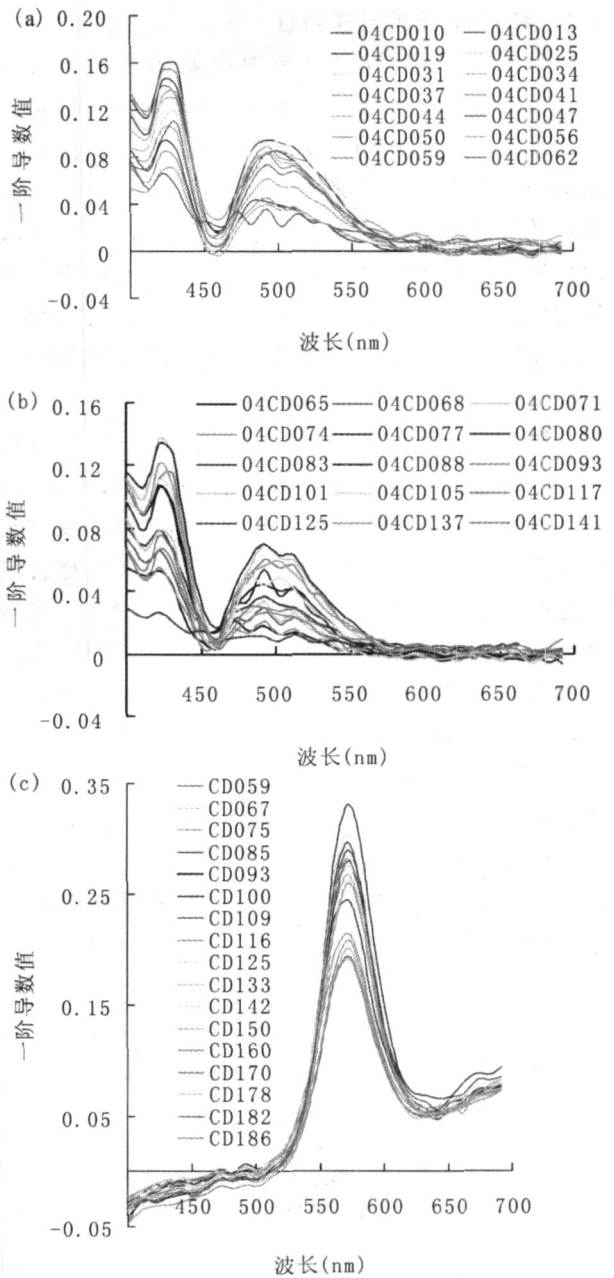


图4 床得剖面不同层段样品的漫反射光谱学特征  
Fig. 4 diffuse reflectance characteristics of different units of Chuangde section

主要以高价态形式存在。

Deaton 和 Balsam (1991) 利用漫反射光谱(DRS)技术对深海沉积物进行了研究, 结果表明, 赤铁矿和针铁矿反射光谱在可见光范围都有明显的一阶导数峰值, 其中赤铁矿的特征峰中心在565 nm。针铁矿有两个一阶导数峰, 一个峰在535 nm, 另一个峰在435 nm。由于535 nm的峰经常与赤铁矿的峰较难区别, 所以435 nm的峰能更好地指示针铁矿(胡修棉等, 2006)。床得剖面的黑层样品在波长

为 435 nm 和 500 nm 处达到其一阶导数峰值。白层段下部大多数样品在 435 nm 处达到峰值。白层上部少数样品, 在 435 nm 处不显示峰值特征。红层中所有样品的光谱一阶导数曲线仅有一个峰值, 在波长 565 nm 处。因而通过漫反射光谱分析可知, 在红层中铁矿物主要以赤铁矿形式存在, 而黑层中以针铁矿为主, 但在黑层样品中针铁矿的 535 nm 处的特征峰值并不明显。白层段下部可能有针铁矿存在, 但其上部不含有高价态铁矿物。同时, 前人研究表明赤铁矿不是碎屑来源的, 而是同沉积期一成岩早期阶段的产物。我们认为, 红层中的铁主要来源于陆源输入, 但它在到达海底之前, 可能为胶体或被还原为可溶性铁离子, 而在底层水氧化条件下保存或被氧化而形成赤铁矿。因而在红层沉积时期, 底层海水为相当高的氧化状态。

前人在研究中通常使用元素的富集指数( $EF_x$ )来表示某元素在沉积岩中的相对富集状况。对于页岩而言,  $EF_x = (X/Al)_{\text{样品}} / (X/Al)_{\text{页岩平均值}}$ , 当  $EF$  大于 1 时, 表示元素为富集, 反之, 当  $EF$  小于 1 则表示元素为亏损 (Tribovillard et al., 2006)。全球页岩平均值中的  $Fe/Al$  比约为 0.39 (Wedepohl 1969 ~ 1978; Piper et al., 1995), 因而在衡量铁的相对富集状况时, 可将样品中的  $Fe/Al$  比值与 0.39 相比较 (如图 2)。床得剖面的黑层段至白层中部多数样品的  $Fe/Al$  比值大于 0.39, 而在白层上部  $Fe/Al$  比值很低, 红层中的  $Fe/Al$  比达到最高, 平均为 0.52。铁是变价元素, 在不同的氧化还原条件下表现出的特征迥然不同。在氧化条件下,  $Fe$  一般以氢氧化物或氧化物及相应的针铁矿或赤铁矿而形成沉积。而在还原条件下的迁移能力较强, 通常在水体中与硫离子形成黄铁矿沉积下来, 有时也会以菱铁矿形式沉积 (Canfield 1993)。因而, 在氧化条件下, 铁能够得以保存, 而在还原条件下铁的迁移能力加强, 可能会导致铁的流失。床得剖面的红层段铁富集程度很高, 黑层段和白层下部铁元素较为富集, 而在白层上部, 铁呈亏损状态。以往认为, 江孜地区的黑层和白层为大洋缺氧状态 (Wang et al., 2001), 红层为富氧沉积 (Wang et al., 2005)。本文从铁的相对富集状况以及漫反射光谱特征来分析, 江孜地区红层沉积时期底层水为富氧状态, 而黑层和白层下部可能为弱氧化状态, 大洋缺氧沉积出现于白层上部。

致谢: 南京大学分析中心张孟群、地科系徐建平

和表生地球化学实验室季峻峰三位老师, 分别在常量元素含量和漫反射光谱特征等实验过程中给予了大量帮助。谨在此向他们深表谢意。

## 参 考 文 献

- 胡修棉, 王成善, 李祥辉, Luba Jansa. 2006. 藏南上白垩统深水海相红层: 岩石类型、沉积环境与颜色成因. 中国科学(D辑: 地球科学), 36: 811~821.
- 马宗晋, 杜品仁, 卢苗安. 2001. 地球的多圈层相互作用. 地学前缘, 8: 3~8.
- 王成善, 李祥辉, 万晓樵, 等. 2000. 西藏南部江孜地区白垩系的厘定. 地质学报, 74(2):
- Arthur M A, Sageman B B. 1994. Marine black shales: depositional mechanisms and environments of ancient deposits. *Annu. Rev. Earth planet. Sci.* 22: 499~551.
- Barrera E, Johnson C C. 1999. Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate system. Boulder Colorado. Geological Society of America Special Paper, 332: 1~445.
- Canfield D E, Thamdrup B, Hansen, J W. 1993. The anaerobic degradation of organic matter in Danish coastal sediments: iron reduction, manganese reduction and sulphate reduction. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 3867~3883.
- Chengshan Wang, Xiumian Hu, Massimo Sarti et al. 2005. Upper Cretaceous oceanic red beds in southern Tibet: a major change from anoxic to oxic deep-sea environments. *Cretaceous*, 26: 21~32.
- Deaton B C, Balsam, W L. 1991. Visible spectroscopy—a rapid method for determining hematite and goethite concentration in geological materials. *J. Sedim. Petro.* 61: 628~632.
- Hu Xiumian, Wang Chengshan, Li Xianghui, Jansa Luba. 2006. Upper Cretaceous oceanic red beds in southern Tibet: Lithofacies, environments and colour origin. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 49(8): 785~795.
- Jenkyns H C. 1980. Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *J. Geol. Soc. London*, 137: 171~188.
- Nicolas Tribovillard, Thomas J. 2006. Algeo, Timothy Lyons, et al., Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology*, 232(1~2): 12~32.
- Piper D Z, Isaacs C M. 1995. Geochemistry of Minor elements in the Monterey Formation, California; Seawater Chemistry of Deposition, United States Government Printing Office, Washington, 1~41.
- Wang Chengshan, Hu Xiumian, L Jansa et al. 2001. The Cenomanian-Turonian anoxic event in southern Tibet. *Cretaceous Research*, 22: 481~490.
- Wedepohl K H. Handbook of geochemistry. Berlin: Springer-Verlag, 1969~1978.
- Xiumian Hu, Luba Jansa, Chengshan Wang et al. 2005. Upper Cretaceous oceanic red beds (CORBs) in the Tethys: occurrences, lithofacies, age and environments, 26: 3~20.

## The Occurrence of Iron in the Chuangde Section of Gyangze, Southern Tibet: Implications for the Paleoceanography

CHEN Xi<sup>1)</sup>, WANG Chengshan<sup>1)</sup>, HU Xiumian<sup>2)</sup>, HUANG Yongjian<sup>1)</sup>

1) *Research Center for Tibetan Plateau Geology of China University of Geosciences, Beijing, 100083;*

2) *Department of Geology of Nanjing University, Nanjing, 210093*

### Abstract

Cretaceous marine sediments spread widely in the Gyangze area, Southern Tibet. The Chuangde Section is one of the most studied sections in this area. According to the lithology, the section is divided into 4 units from bottom to top: black unit, white unit, red beds units, and olistostrome unit. This paper analyzed the contents of Fe and Al, the ratios of  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  and the characteristic of spectral data of the samples from different units of the Chuangde Section. Fe decreases from the bottom of black unit to the upper part of white unit, but it reaches to a highest value in the red bed. The plot of the content of Al represents a similar trend with that of Fe. Both of them have highest average value in the red beds. The  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  ratio declines slightly from the black unit to white unit, but it reaches to a highest value in the red bed. By analyzing the ratios for Fe and Al, we believe that the Fe in the red bed was terrigenous. Fe's enrichment in the red bed means an increased terrestrial input. The Al and Fe in the black unit and white unit have very low correlation coefficients. Though there is not exact explanation for it, we believe that it was caused by the pyritization. The spectral curves of samples from different units were estimated in this paper. To make the spectral data easier to be interpreted, we calculated the first derivative of the raw spectral curves. First derivative curves for the black unit and white unit have two peaks in the wavelength of 435 nm and 500 nm. In contrast, the samples of red bed have a single prominent peak in the wavelength of 565 nm. It indicates that the red bed is rich in hematite and the other units contain goethite. Combined with previous researches, we believe that the iron in the red bed came from terrestrial input and is oxygenated after precipitation. The bottom water was in a highly oxide state.

**Key words:** Gyangze; Cretaceous; iron; paleoceanography