

南雄盆地晚白垩世—古新世陆源沉积组份变化的古气候指示^①

王尹^{1,2} 李祥辉² 周勇³ 刘玲¹

(1.江苏省有色金属华东地质勘查局八一四队 南京 210007;

2.南京大学地球科学与工程学院内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 南京 210093;

3.四川省地质矿产勘查开发局四零二地质队 成都 611730)

摘要 利用陆源沉积中的碎屑组份(泥岩中的碎屑黏土矿物种类和砂岩中砂、粉砂碎屑类型)相对含量变化,对广东北部和江西南部的南雄盆地晚白垩世—古新世古气候进行了分析。结果显示,砂岩碎屑组份含量气候指数(长石/石英比, F/Q)介于0.02~0.14之间;(碎屑)黏土矿物组合主要以伊利石为主,平均79%;伊利石结晶度指数与化学指数分别为0.25~0.39、0.31~0.7。进一步分析表明,研究区这一时期以干旱气候为主,存在暖湿气候间断,古气候演化可分为三个阶段:晚白垩世马斯特里赫特期以干旱—半干旱性气候为主,古新世丹尼期早期转变为相对湿热或与干旱—半干旱气候交替,古新世丹尼期晚期恢复到半干旱性气候,但比第一阶段湿度可能稍有增加。这一总体干旱—半干旱气候格局及其变化总体与同期全球气候变化一致。

关键词 碎屑组份指针 黏土矿物 古气候 晚白垩世 古新世 南雄盆地

第一作者简介 王尹男 1985年出生 硕士 古气候与古土壤 E-mail: yin31721@qq.com

中图分类号 P532 **文献标识码** A

较长时期以来,白垩纪—古近纪全球气候变化的资料大多来源于大洋钻探的岩芯以及海相白垩系,更多的是反映古海洋气候。显然,利用陆相记录来认识白垩纪—古近纪气候也非常必要^[1],而且近期在国内业已受到广泛关注^[2-5]。

中国大陆发育丰富的白垩纪—古近纪陆相沉积,具有研究相关时期大陆气候得天独厚的优势,可为此期全球气候变化研究提供科学依据。南雄盆地作为华南典型的陆相盆地,发育连续陆相白垩系—古近系^[6-7],是进行陆相古气候研究的有利场所。已有的研究成果认为这套陆相红层形成于干热气候条件^[6],并据恐龙蛋壳中的 $\delta^{18}\text{O}$ 异常提出在白垩纪末期存在短期极端干燥的气候条件^[8]。然而,这些气候研究成果较为笼统,缺少相对连续的系统研究。为此,本文在前人工作基础上对南雄盆地大塘剖面砂岩碎屑组份和泥岩黏土矿物相对含量变化等指标进行系统分析,以探讨华南晚白垩世—古新世气候特征的系统变化规律。

1 地质背景

南雄盆地位于广东省北部—江西南部,呈NE向

长条状展布(图1)。从晚白垩世到古近纪在区域拉伸背景下,南雄盆地受NE向断裂系的控制,基本表现为地堑式不对称伸展断陷盆地,具“北断南超”特征,其沉降中心由南向北逐渐迁移^[9-10]。

南雄盆地出露有完整的陆相红层,沉积连续,化石丰富,是我国研究陆相上白垩统和古新统的详细划分及其界线的首选地区,因而倍受国内外地质工作者关注。南雄盆地的地层一般划分为白垩系松山组、南雄群(园圃组、主田组、淡水组)、古近系罗佛寨群(上湖组、浓山组、古城村组)2群7组,包含5个三级旋回^[11]。本次工作重点涉及主田组、淡水组、上湖组。其中主田组、淡水组及上湖组底部2.3 m属于晚白垩世马斯特里赫特期,上湖组其余部分属于古新世丹尼期^[12-13]。

2 材料与方法

本次工作在南雄盆地大塘剖面采集了砂岩和泥岩各30件样品。该剖面又称坪岭剖面或杨梅坑—逆龙坑白垩系—古近系界线剖面,位于南雄市东北约25 km,距大塘镇(现称油山镇)约1 km(图1)。其中,在主田组、淡水组、上湖组的砂岩样品分别为5

^①国家自然科学基金项目(批准号:41372106)和国际重点基础研究发展计划“973”项目(编号:2012CB822003)联合资助
收稿日期:2013-12-09;收修改稿日期:2014-05-26

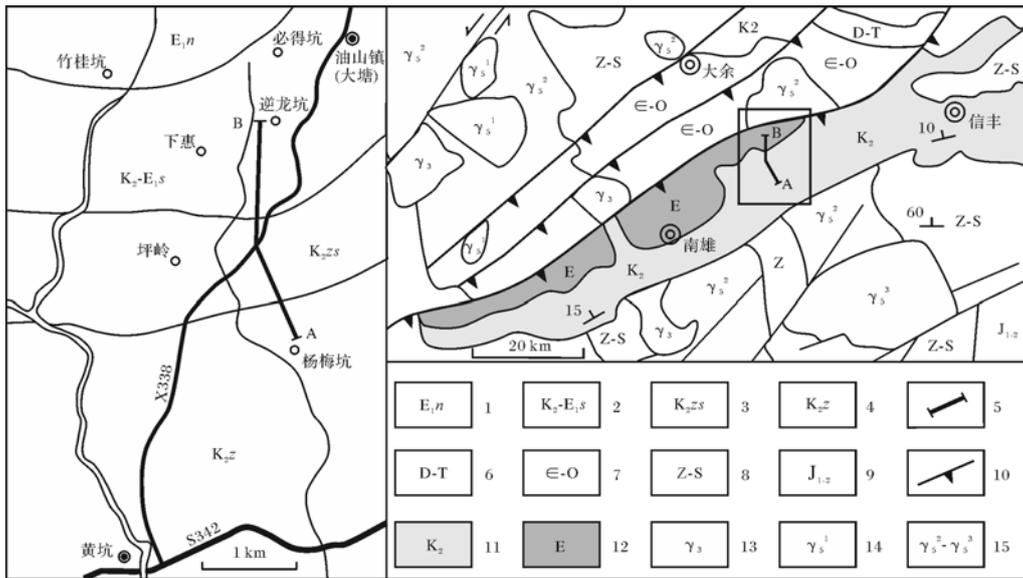


图 1 南雄盆地地质简图及大塘剖面交通位置图(据张显球等,2006;舒良树等,2004 编绘^[10, 12])

1. 浓山组; 2. 上湖组; 3. 淡水组; 4. 主田组; 5. 剖面; 6. 泥盆系—三叠系; 7. 寒武系—奥陶系; 8. 震旦系—志留系; 9. 下—中侏罗统; 10. 断层; 11. 上白垩统; 12. 古近系; 13. 加里东期花岗岩; 14. 印支期花岗岩; 15. 燕山早期—晚期花岗岩

Fig. 1 Simplified geological map of the Nanxiong Basin and location of the Datang cross-section (after Zhang Xianqiu, *et al.*, 2006; Shu Liangshu, *et al.*, 2004)

1. Nongshan Formation (Fm.); 2. Shanghu Fm.; 3. Zhenshui Fm.; 4. Zhutian Fm.; 5. cross-section; 6. Devonian-Triassic; 7. Cambrian-Ordovician; 8. Sinian-Silurian; 9. Middle-Lower Jurassic; 10. Fault; 11. Upper Cretaceous; 12. Paleogene; 13. Caledonian granite; 14. Indosinian granite; 15. Early-Late Yanshanian granite

件、16 件和 9 件, 泥岩样品分别为 5 件、12 件和 13 件。

2.1 砂岩组份统计

依据岩性变化在 30 件砂岩样品中选取 24 件进行碎屑组份含量统计。砂岩的碎屑组份统计使用薄片计点法^[14]完成, 统计原则参见王成善和李祥辉^[15]。为使结果具有代表性, 本文每件样品统计 350~500 个颗粒。统计碎屑组份为石英(Q)、长石(F)和岩屑(L), 目的在于获取碎屑气候指数(参见第 3 节)。

2.2 黏土矿物相对含量分析

按照新鲜、有代表性原则, 共采集泥岩样品 30 件。泥岩的实验样品依据 X 衍射的标准程序^[16]制备, 黏土矿物组成分析在同济大学海洋地质国家重点实验室使用 PANalytical X'Pert PRO 衍射仪(XRD)完成, 实验参数为 CuK α 辐射, Ni 滤波器, 管压 45 kV, 管流 40 mA。本次工作分别在自然条件、乙二醇条件(24 小时)、加热条件(490 $^{\circ}$ C 烘箱中加热 2 小时)下对预处理过的样品薄片进行了比较测试。

黏土矿物组份(<2 μ m)分析是根据 Stokes 原理来进行的, 即依据沉淀时间^[17]将小于 2 μ m 的颗粒吸出并离心去除水分, 采用刮片方法制成样品定向薄

片^[16, 18], 然后上机测试获得分析曲线。具体黏土矿物的鉴定和解释依据三种测试条件下获得的 XRD 叠加波谱进行综合对比^[16, 18]。其中, 波峰参数的半定量计算使用 MacDiff 软件^[19]在乙二醇曲线上完成。黏土矿物的相对含量计算使用(001)晶面衍射峰的面积比法。各黏土矿物晶面分别使用: 蒙脱石(含伊利石/蒙脱石随机混层矿物)1.7 nm(001)晶面, 伊利石 1 nm(001)晶面, 高岭石(001)和绿泥石(002)0.7 nm 叠加峰^[17], 其相对比例通过拟合 0.357 nm/0.354 nm 峰面积比确定。

3 气候指示

3.1 砂岩碎屑组份指数的气候指示

长石和石英是沉积物中的常见矿物, 其中石英抗侵蚀的能力很强, 长石远比石英易于风化。长石砂岩常在构造比较稳定的干燥气候环境中形成, 在潮湿温热的气候条件下易于风化、分解, 不易保存下来, 所以, 砂岩中长石的含量及其黏土化情况可以反映气候变化。利用这一原理, 人们使用砂岩组份气候指数——长石/石英(F/Q)之比来评估砂岩化学风化强度^[20-22], 并分析气候变化: 指数越大代表气候越干冷。

3.2 黏土矿物相对含量及指数的气候指示

黏土矿物组份相对含量变化及有关指数是恢复古气候和古环境的重要指针和有效手段^[23-24]。对于黏土矿物而言,目前已知伊利石多形成于干冷气候条件下,总体反映干燥气候,如气候变得湿热,将进一步分解为高岭石;绿泥石含量增加一般代表逐渐变为干旱气候^[25-27];高岭石形成于相对温暖和潮湿的气候条件^[28];蒙脱石易形成于干湿交替的气候环境^[29],但多保存于干燥气候条件下。伊利石结晶度指数为1 nm半峰宽,低值表示伊利石结晶度高,反映干燥寒冷的气候,高值表示结晶度差,反映温暖潮湿的气候^[30]。伊利石化学指数为0.5 nm/1.0 nm峰面积比,大于0.5为富Al伊利石,由水解作用形成,小于0.5时为富Mg-Fe伊利石,为物理风化结果^[31],明显可反映气候条件。

总体而言,伊利石、绿泥石和蒙脱石多形成和保存在干燥气候条件下,是否变得湿润或者湿热,既要考虑高岭石的存在,也要有伊利石结晶度和化学指数变化的支持。

然而,只有那些未发生成岩后生变化的黏土矿物才能反映古气候^[32-34],即可真正反映源区和流域内的风化与气候条件^[35]。分析结果显示,伊利石结晶度指数没有出现从下往上变小的趋势,而是呈波动式变化(图2),说明受到埋藏成岩、变质改造影响甚微;伊利石、高岭石、绿泥石一直存在(图2),表明埋深变化未曾对黏土矿物组成产生改变;薄片鉴定结果显示大部分样品都没有发生明显的成岩后生变化,如重结晶、交代、次生加大等现象均未发现。这表明,本次工作的黏土矿物组合和含量变化信息可以用作判断古气候变化的定性指针。

4 实验结果

4.1 砂岩碎屑组分气候指数

气候指数F/Q统计结果总结于表1,变化于0.02至0.14之间,可以分为三个阶段:主田组至淡水组下段,从0.1降至0.02,均值0.05;淡水组上段至上湖组坪岭段,在0.05至0.14之间波动,均值0.09;上湖组下慧段,从0.04缓降至0.02,均值0.04。

4.2 黏土矿物组成与指数

黏土矿物组成总体上以伊利石为主,一般含量大于65%,平均值为79%;其次是绿泥石,平均值为14%;高岭石相对较少,均值仅为6%;蒙脱石含量最少,多数层位不含蒙脱石。但是,不同层位黏土矿物

相对含量存在一定差异。如伊利石相对含量先呈缓慢减少趋势,在上湖组坪岭段含量最低65%~80%,后期快速增加至稳定状态,在主田组达最高81%~86%,而其它三种黏土矿物相对含量变化与伊利石呈消长关系。

伊利石结晶度指数在0.25~0.39之间变化,均值0.3,晚白垩世平均为0.29,古新世平均为0.33。伊利石化学指数介于0.31~0.7之间,均值0.49。这两种指数变化基本相同(图2,表2),但在上湖组坪岭段存在异常,平均值分别达到0.36和0.63,与此时期黏土矿物相对含量异常变化相对应。

5 古气候分析

如实验结果(表2、图2)显示,伊利石和绿泥石为主要的黏土矿物,相对含量超过85%,表明研究区大部分时期处于干旱气候状况。另外,伊利石结晶度指数普遍较低,仅在上湖组坪岭段有所增加;伊利石化学指数大部分小于0.5,或者在0.5附近波动,仅上

表1 南雄盆地上白垩统—古新统砂岩中碎屑比统计结果

Table 1 Clastic composition ratios from the Upper Cretaceous-Paleocene sandstones in the Nanxiong Basin

地质年代	岩石地层	标本号	岩性	采样位置 /m	F/Q		
古新世	上湖组	DT-121B	细粒岩屑石英砂岩	685	0.02		
		DT-112B	细粒岩屑石英砂岩	642	0.04		
		DT-110B	细粒岩屑石英砂岩	635	0.04		
		DT-106B	细粒岩屑石英杂砂岩	616	0.04		
		DT-88B	细粒岩屑石英杂砂岩	555	0.04		
		DT-71B	岩屑石英砂岩	467	0.09		
		DT-58B	岩屑石英杂砂岩	413	0.12		
		DT-57B	岩屑石英杂砂岩	411	0.11		
		晚白垩世	淡水组	DT-49B	细砾岩	396	0.07
				DT-46B	岩屑石英杂砂岩	382	0.04
DT-45B	岩屑石英砂岩			373	0.14		
DT-43B	岩屑石英砂岩			355	0.09		
DT-41B	岩屑石英砂岩			344	0.06		
DT-40B	岩屑杂砂岩			336	0.05		
DT-35B	细砾岩			312	0.07		
DT-31B	细粒岩屑杂砂岩			276	0.06		
DT-28B	岩屑石英砂岩			250	0.14		
DT-25B	岩屑杂砂岩			240	0.02		
主田组	下慧段	DT-23B	岩屑砂岩	170	0.02		
		DT-21B	岩屑石英砂岩	154	0.07		
		DT-20B	含砾岩屑砂岩	146	0.01		
		DT-15B	细粒岩屑石英砂岩	116	0.04		
		DT-12B	岩屑砂岩	90	0.06		
		DT-07B	岩屑砂岩	62	0.10		

湖组坪岭段均大于 0.5,说明研究区大部分时期处于干旱气候,仅少数时期处于暖湿气候。结合以上情况可能暗示研究区(物源和盆地)为亚热带半干旱气候条件。

具体地,根据黏土矿物组合相对含量、伊利石结晶度指数与化学指数、碎屑比变化特征及其反映的古气候特征,可以分为三个演化阶段:

第一阶段,马斯特里赫特期(70.4~65.0 Ma),主田组—上湖组坪岭段底部(1~41层),干旱—半干旱气候。伊利石均值 83%,绿泥石均值 12%,高岭石均值 5%。伊利石和绿泥石相对含量较高,高岭石含量相对较低,指示干旱气候。伊利石的结晶度指数均值 0.29,相对较低;伊利石化学指数均值 0.47,少数高于 0.5,均指示干旱—半干旱气候。气候指数 F/Q 波动较大,均值 0.07,其中 16 至 21 层相对较低,指示总体

干旱,少量时期暖湿的气候。

特殊地,F/Q 含量比率在第 22、38、41 层较高,分别达 0.14、0.14 和 0.12,是这一阶段的三个最高值(表 1、图 2),一定程度上表明这三个点所代表的时间段的气候相对于第一阶段其它时期更为干燥,故而长石得以较高比例保存。或许,不排除源区含长石的岩石类型增加的可能。但是,如果考虑近乎同期的黏土矿物样品有较低的伊利石结晶度和化学指数,同样反映相对干旱气候变化的情况,我们认为,气候变得更为干燥可能是其 F/Q 增加(长石含量增加)^[12]的主要原因。

第二阶段,古新世丹尼期早期(65.0~63.8 Ma),主体为上湖组坪岭段(可能包括 45~54 层),相对湿热气候。伊利石均值 69%,绿泥石均值 19%,高岭石均值 9%。伊利石相对含量减少,高岭石含量有所增

表 2 南雄盆地上白垩统一古新统黏土矿物分析结果表

Table 2 Relative content of clay minerals and indices relevant from the Upper Cretaceous-Paleocene mudrocks in the Nanxiong Basin

地质年代	岩石地层	采样位置/m	样品编号	伊利石/%	绿泥石/%	高岭石/%	蒙脱石/%	伊利石结晶度指数	伊利石化学指数	
古新世	上湖组	680	DT-120C	78	15	7	0	0.34	0.47	
		647	DT-113C	76	15	8	1	0.3	0.53	
		621	DT-108C	76	18	6	1	0.28	0.41	
		597	DT-98C	75	16	8	1	0.3	0.48	
		568	DT-92C	76	16	8	0	0.3	0.48	
		552	DT-87C	77	16	7	0	0.33	0.53	
		518	DT-81C	78	15	8	0	0.29	0.45	
		496	DT-75C	67	22	10	1	0.35	0.68	
		465	DT-69C	66	21	9	5	0.38	0.66	
		437	DT-61C	72	17	9	2	0.39	0.65	
		412	DT-59C	70	17	6	7	0.33	0.55	
		409	DT-56C	81	12	7	0	0.35	0.56	
		403	DT-53C	76	13	10	1	0.34	0.7	
		晚白垩世	滨水组	392	DT-48C	75	17	7	1	0.28
370	DT-44C			79	14	7	0	0.28	0.49	
347	DT-42C			80	9	6	5	0.25	0.58	
333	DT-38C			83	11	7	0	0.33	0.5	
315	DT-36C			84	11	3	2	0.26	0.52	
293	DT-33C			84	12	5	0	0.27	0.5	
273	DT-30C			84	12	4	0	0.28	0.51	
247	DT-27C			83	13	5	0	0.34	0.49	
183	DT-24C			88	7	5	0	0.34	0.44	
166	DT-22C			80	12	7	0	0.27	0.56	
138	DT-17C			83	12	5	0	0.27	0.44	
111	DT-14C			83	12	4	0	0.29	0.36	
主田组	87			DT-11C	85	10	4	0	0.29	0.34
	73			DT-08C	87	10	3	0	0.29	0.31
	58	DT-06C	82	14	3	1	0.28	0.31		
	37	DT-05C	84	10	6	0	0.29	0.41		
	4	DT-01C	83	11	6	0	0.27	0.4		

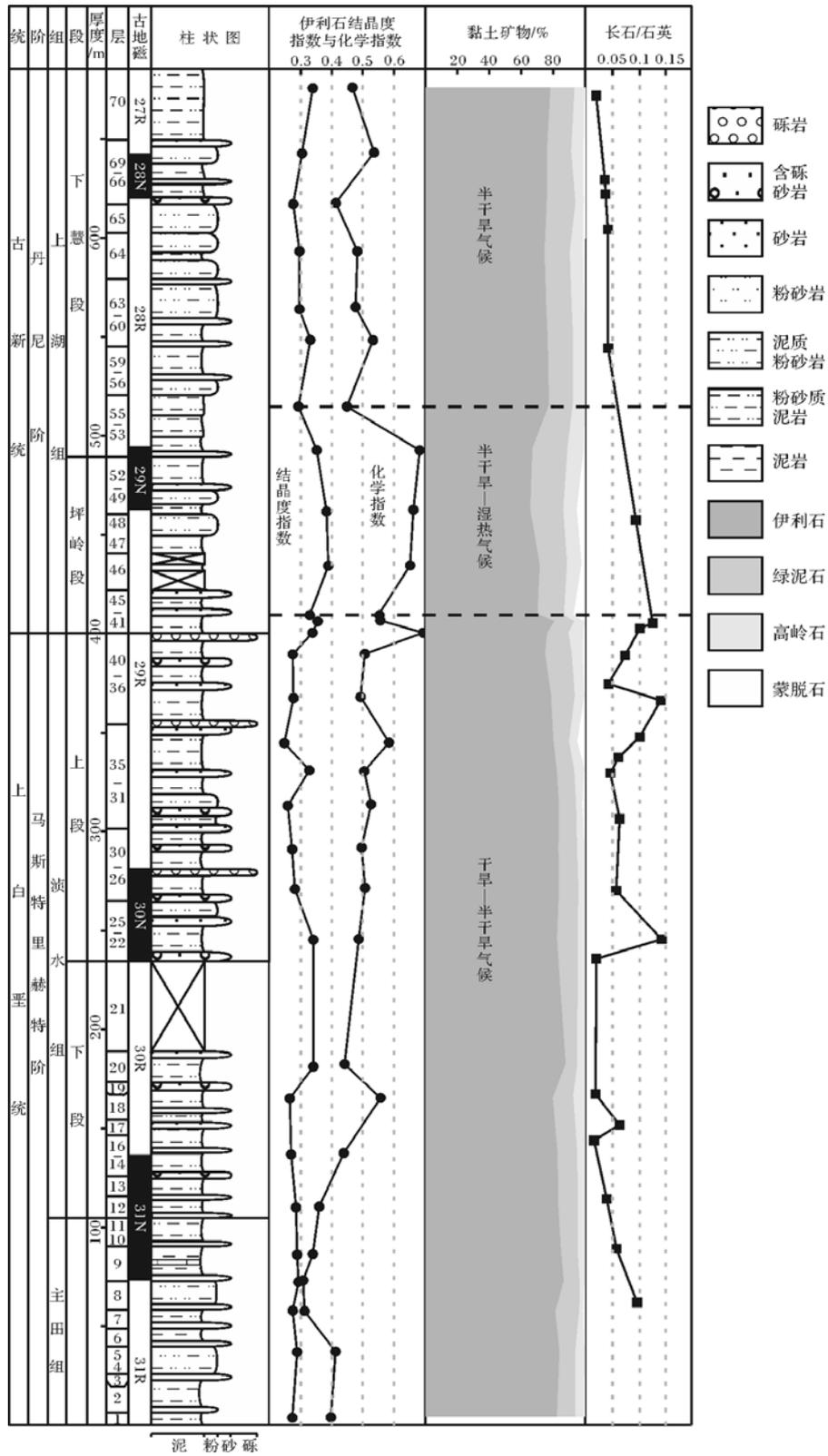


图2 南雄盆地大塘剖面气候参数变化图

(地层系统据赵资奎等, 1991; Erben *et al.*, 1995; Gradstein *et al.*, 2008; Clyde *et al.*, 2010 综合^[13, 38, 41-42])

Fig.2 Diagram showing the stratigraphic system of the Upper Cretaceous-Paleocene and climate indices from the Datang cross-section in the Nanxiong Basin

(stratigraphy compiled from Zhao Zikui, *et al.*, 1991; Erben *et al.*, 1995; Gradstein *et al.*, 2008; and Clyde *et al.*, 2010)

加,一定程度上说明气候变得比较湿润,并部分导致其向蒙脱石转化。另一方面,伊利石结晶度指数和化学指数都明显增大,均值分别为0.36和0.62。伊利石结晶度指数增大,可能指示气候湿热度增加;伊利石化学指数增大,均超过0.5表明可能有较为强烈的水解作用发生。与此同时,F/Q相对较小,小于0.1,亦即长石含量比例减少,也可能指示气候较为湿热。

上湖组下部坪岭段的各参数变化及其指示的气候变化,与全球海相地层所指示的短期暖湿气候一致^[36],底部的相对变化也与由古生物方法^[12,37]、古地磁^[13,38]、稳定同位素^[39-40]等方法确定的白垩纪—古近纪界限大致相当。

第三阶段,古新世丹尼期(63.8~62 Ma),上湖组下慧段(55~70层),半干旱气候。黏土矿物相对含量趋于平稳,均值分别为76%和16%,高岭石略有下降为7%,几乎不含蒙脱石;伊利石结晶度指数和化学指数有所减小,均值分别为0.31和0.48。这种特征表明,该阶段气候恢复到第一阶段状况,主体属于半干旱气候,与孢粉所指示的上湖组气候变化^[12]一致,但从伊利石化学指数来看,可能比第一阶段稍微湿润一点。这一点还从砂岩碎屑组份气候指数F/Q较低可以得到印证。

综上所述,南雄盆地晚白垩世—古新世时期总体以干旱—半干旱气候为主,间隔少量湿热气候,指示研究区其时处于热带—亚热带半干旱气候带,与其时的古气候分带^[43]表现一致,也与晚白垩世以来华南古气候和古地理变化较小相吻合。

6 结论

根据南雄盆地大塘剖面陆源沉积岩中的碎屑组份(泥岩中的碎屑黏土矿物种类和砂岩中碎屑类型)相对含量变化,可知本区晚白垩世—古新世古气候以干旱气候为主,存在暖湿气候间断。

依据具体黏土矿物相对含量、伊利石结晶度和化学指数、F/Q含量比例等指针的变化,南雄盆地的古气候演化可分为三个阶段:①主田组和淡水组(晚白垩世马斯特里赫特期)沉积时期以干旱—半干旱性气候为主,并淡水组上段存在气候更为干燥的短暂时期,以F/Q含量比例达到高值(大于0.12)为标志;②上湖组下部坪岭段(古新世丹尼期早期)半干旱—湿热性气候交替;③上湖组上部下慧段(古新世丹尼期晚期)半干旱性气候,较之第一阶段,湿热程度有所增加。

华南南雄盆地这种气候特征及其变化与同期全球气候变化基本一致,即古新世早期上湖组的气候变化可能是白垩纪—古近纪之交全球气候变化事件在南雄盆地陆相沉积物中的响应;这一变化特点还与由古生物、古地磁、稳定同位素等方法得到的白垩纪—古近纪过渡阶段气候变化的认识基本吻合。

致谢 在样品制备及实验过程中得到了同济大学刘志飞教授、李艳丽博士、贺子丁硕士的无私帮助,在此表示诚挚的感谢!

参考文献 (References)

- Bocherens H, Friis E M, Mariotti A, et al. Carbon isotopic abundances in Mesozoic and Cenozoic fossil plants: Palaeoecological implications [J]. *Lethaia*, 1994, 26(4): 347-358.
- 洪汉烈,于娜,薛惠娟,等. 临夏盆地晚更新世沉积物黏土矿物的特征及其古气候指示[J]. *现代地质*, 2007, 21(2): 406-414. [Hong Hanlie, Yu Na, Xue Huijuan, et al. Clay mineralogy and its palaeoclimatic indicator of the Late Pleistocene in Linxia Basin [J]. *Geoscience*, 2007, 21(2): 406-414.]
- 李祥辉,徐宝亮,陈云华,等. 华北—东北南部地区中生代中晚期粘土矿物与古气候[J]. *地质学报*, 2008, 82(5): 683-691. [Li Xianghui, Xu Baoliang, Chen Yunhua, et al. Clay minerals of the Middle-Late Mesozoic mudrocks from North and Northeast China: Implications to paleoclimate and paleohighland [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(5): 683-691.]
- 刘芳,宋见春,罗来,等. 白垩纪早期陆相特殊沉积的分布特征及气候意义[J]. *地学前缘*, 2009, 16(5): 48-62. [Xiang Fang, Song Jianchun, Luo Lai, et al. Distribution characteristics and climate significance of continental special deposits in the Early Cretaceous [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(5): 48-62.]
- 刘玲,李祥辉,王尹,等. 浙闽地区白垩纪早中期黏土矿物组成特征及其古气候显示[J]. *沉积学报*, 2012, 30(1): 120-127. [Liu Ling, Li Xianghui, Wang Yin, et al. The Early-Mid Cretaceous changes of clay mineral composition from Zhejiang and Fujian provinces, SE China: Indications to paleoclimate changes [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(1): 120-127.]
- 刘云,王宗哲. 广东南雄盆地白垩纪—第三系界线地层岩性特征及环境分析[J]. *地层学杂志*, 1986, 10(3): 190-203. [Liu Yun, Wang Zongzhe. The petrographic characters and environmental analysis of the Cretaceous-Tertiary boundary strata at the Nanxiong Basin Guangdong province [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1986, 10(3): 190-203.]
- 拉塞尔 D A, 拉塞尔 D E, 斯威特 A R. 关于南雄盆地 K/T 界线地层序列的几个问题[J]. *古脊椎动物学报*, 1993, 31(2): 139-145. [Russell D A, Russell D E, Sweet A R. The end of the dinosaurian era in the Nanxiong Basin [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1993, 31(2): 139-145.]
- 陈丕基. 广东南雄上湖组叶肢介化石的发现—并论中国古新世陆相地层[J]. *古生物学报*, 1986, 25(4): 380-393. [Chen Piji. On the Chinese non-marine Paleocene from the new discovery of the conchost-

- racan fauna of Nanxiong, Guangdong [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1986, 25(4): 380-393.]
- 9 李思田. 中国东部及邻区中、新生代盆地演化及地球动力学背景 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. [Li Sitan. *Eastern China and Adjacent Areas in Mesozoic and Cenozoic Basin Evolution and Geochemical Dynamics Background* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997.]
 - 10 舒良树, 邓平, 王彬, 等. 南雄诸广地区晚中生代盆山演化的岩石化学、运动学与年代学制约 [J]. *中国科学 (D 辑): 地球科学*, 2004, 34(1): 1-13. [Shu Liangshu, Deng Ping, Wang Bin, et al. Late Mesozoic basin-range evolution of Nanxiong Zhuguang area: Constraint from petrochemistry, kinematics and geochronology [J]. *Science China (Seri.D): Earth Sciences*, 2004, 34(1): 1-13.]
 - 11 李佩贤, 程政武, 张志军, 等. 广东南雄盆地的“南雄层”和“丹霞层” [J]. *地球学报*, 2007, 28(2): 181-189. [Li Peixian, Cheng Zhengwu, Zhang Zhijun, et al. The Nanxiong Bed and the Danxia Bed in the Nanxiong Basin of Guangdong province [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2007, 28(2): 181-189.]
 - 12 张显球, 林建南, 李罡, 等. 南雄盆地大塘白垩系—古近系界线剖面研究 [J]. *地层学杂志*, 2006, 30(4): 327-340. [Zhang Xianqiu, Lin Jiannan, Li Gang, et al. Non-marine Cretaceous-Paleogene Boundary Section at Datang of Nanxiong, northern Guangdong [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2006, 30(4): 327-340.]
 - 13 赵资奎, 叶捷, 李华梅, 等. 广东省南雄盆地白垩系—第三系交界恐龙绝灭问题 [J]. *古脊椎动物学报*, 1991, 29(1): 1-20. [Zhao Zikui, Ye Jie, Li Huamei, et al. Extinction of the dinosaurs across the Cretaceous-Tertiary boundary in Nanxiong Basin, Guangdong province [J]. *Vertebrate Palasiatica*, 1991, 29(1): 1-20.]
 - 14 Ingersoll R V, Fullard T F, Ford R L, et al. The effect of grain size on detrital modes; a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1984, 54(1): 103-116.
 - 15 王成善, 李祥辉. 沉积盆地分析原理与方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 92-98. [Wang Chengshan, Li Xianghui. *Principles and Methods of Sedimentary Basin Analyses* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 92-98.]
 - 16 Liu Zhifei, Colin C, Huang Wei, et al. Climatic and tectonic controls on weathering in south China and Indochina Peninsula: Clay mineralogical and geochemical investigations from the Pearl, Red, and Mekong drainage basins [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2007, 8(5), doi: 10.1029/2006GC001490.
 - 17 Holtzapffel T. Les Minéraux Argileux: Préparation, Analyse Diffractométrique et Détermination [M]. Société géologique du Nord, 1985.
 - 18 Liu Zhifei, Zhao Yulong, Colin C, et al. Chemical weathering in Luzon, Philippines from clay mineralogy and major-element geochemistry of river sediments [J]. *Applied Geochemistry*, 2009, 24(11): 2195-2205.
 - 19 Petschick R. Mac Diff version 4.2.2. [Online]: <http://servermac.geologie.un-frankfurt.de/Rainer.html>, 2000.
 - 20 Mikesell L R, Schaeztl R J, Velbel M A. Hornblende etching and quartz/feldspar ratios as weathering and soil development indicators in some Michigan soils [J]. *Quaternary Research*, 2004, 62(2): 162-171.
 - 21 Wang Xulong, Miao Xiaodong. Weathering history indicated by the luminescence emissions in Chinese loess and paleosol [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2006, 25(13/14): 1719-1726.
 - 22 杨作升, 赵晓辉, 乔淑卿, 等. 长江和黄河入海沉积物不同粒级中长石/石英比值及化学风化程度评价 [J]. *中国海洋大学学报*, 2008, 38(2): 244-250. [Yang Zuosheng, Zhao Xiaohui, Qiao Shuqing, et al. Feldspar/Quartz (F/O) Ratios as a chemical weathering intensity indicator in different grain size-fractions of sediments from the Changjiang and Huanghe Rivers to the seas [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(2): 244-250.]
 - 23 Singer A. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in soils and weathering profiles [J]. *Earth-Science Reviews*, 1980, 15(4): 303-326.
 - 24 Singer A. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in sediments—a review [J]. *Earth-Science Reviews*, 1984, 21(4): 251-293.
 - 25 Vanderaverot P. Miocene to Pleistocene clay mineral sedimentation on the New Jersey shelf [J]. *Oceanologica Acta*, 2000, 23(1): 25-36.
 - 26 Gingele F X, De Deckker P, Hillenbrand C D. Late Quaternary fluctuations of the Leeuwin Current and palaeoclimates on the adjacent land masses: clay mineral evidence [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2001, 48(6): 867-874.
 - 27 Winkler A, Wolf-Welling T, Stattegger K, et al. Clay mineral sedimentation in high northern latitude deep-sea basins since the Middle Miocene (ODP Leg 151, NAAG) [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2002, 91(1): 133-148.
 - 28 蓝先洪. 粘土矿物作为古气候指标矿物的探讨 [J]. *地质科技情报*, 1990, 9(4): 31-35. [Lan Xianhong. Clay minerals as an index of paleoclimate [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1990, 9(4): 31-35.]
 - 29 Keller W D. Environmental aspects of clay minerals [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1970, 40(3): 788-813.
 - 30 Chamley H. *Clay Sedimentology* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
 - 31 Esquevin J. Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité [J]. *Bulletin du Centre de Recherches de Pau, Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine*, 1969, 3(1): 147-153.
 - 32 Boero V, Premoli A, Melis P, et al. Influence of climate on the iron oxide mineralogy of Terra Rossa [J]. *Clays and Clay Minerals*, 1992, 40(1): 8-13.
 - 33 蓝先洪. 海洋沉积物中粘土矿物组合特征的古环境意义 [J]. *海洋地质动态*, 2001, 17(1): 4-7. [Lan Xianhong. Marine sediments of clay mineral assemblages paleoenvironmental significance [J]. *Marine Geology Development*, 2001, 17(1): 4-7.]
 - 34 陈涛, 王欢, 张祖青, 等. 粘土矿物对古气候指示作用浅析 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2003, 22(4): 416-420. [Chen Tao, Wang Huan, Zhang Zuqing, et al. Clay minerals as indicators of paleoclimate [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2003, 22(4): 416-420.]
 - 35 Thiry M. Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin [J]. *Earth-Science Re-*

- views, 2000, 49(1/2/3/4): 201-221.
- 36 Keller G. The end-Cretaceous mass extinction in the marine realm; year 2000 assessment [J]. *Planetary and Space Science*, 2001, 49(8): 817-830.
- 37 张显球,李罡. 广东南雄盆地罗佛寨群的介形类动物群[J]. 微体古生物学报, 2008, 25(1): 44-77. [Zhang Xianqiu, Li Gang. Ostracod faunas from the Luofozhai Group in the Nanxiong Basin of Guangdong province, China [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2008, 25(1): 44-77.]
- 38 Erben H K, Ashraf A R, Boehm H, et al. Die Kreide/Tertiär-Grenze im Nanxiong-Becken: Kontinentalfazies, Südost China = The Cretaceous/Tertiary boundary in the Nanxiong-Basin: continental facies, SE-China [M]. Stuttgart: F. Steiner, 1995: 32.
- 39 赵资奎,毛雪瑛,柴之芳,等. 广东南雄盆地白垩系—第三系交界恐龙蛋壳的铱丰度异常[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 1998, 28(5): 425-430. [Zhao Zikui, Mao Xueying, Chai Zhifang, et al. The dinosaur eggshells iridium abundance anomalies of the Cretaceous-Tertiary boundary strata in Nanxiong Basin, Guangdong province [J]. *Science China (Series D): Earth Sciences*, 1998, 28(5): 425-430.]
- 40 赵资奎,严正. 广东南雄盆地白垩系—第三系界线剖面恐龙蛋壳稳定同位素记录: 地层及古环境意义[J]. 中国科学(D辑), 2000, 30(2): 135-141. [Zhao Zikui, Yan Zheng. Nanxiong Cretaceous-Tertiary boundary section of dinosaur eggs stable isotope record: stratigraphic and paleoenvironmental significance [J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 30(2): 135-141.]
- 41 Gradstein F M, Ogg J G, Kränendonk M. On the geologic time scale 2008 [J]. *Newsletters on Stratigraphy*, 2008, 43(1): 5-13.
- 42 Clyde W C, Ting S, Snell K E, et al. New paleomagnetic and stable-isotope results from the Nanxiong Basin, China: Implications for the K/T boundary and the timing of Paleocene mammalian turnover [J]. *The Journal of Geology*, 2010, 118(2): 131-143.
- 43 Boucot A J, 陈旭, Scotese C R, 等. 显生宙全球古气候重建[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [Boucot A J, Chen Xu, Scotese C R, et al. *Phanerozoic Global Paleoclimate Reconstruction* [M]. Beijing: Science Press, 2009.]

Paleoclimate Indication of Terrigenous Clastic Rock's Component during the Late Cretaceous-Early Paleocene in the Nanxiong Basin

WANG Yin^{1,2} LI XiangHui² ZHOU Yong³ LIU Ling¹

(1. TEAM 814 East China Mineral Exploration and Development Bureau, Nanjing 210007;

2. State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093;

3. 402th Geological Survey, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu 611730)

Abstract: According to relative content of terrigenous clastic rock's components (clay minerals of claystone and clastic composition of sandstone), analyzing paleoclimate of Late Cretaceous - Paleocene Nanxiong Basin in northern Guangdong and southern Jiangxi. The climate index of sandstone clastic components (feldspar/quartz, F/Q) is between 0.02 to 0.14; Clay mineral assemblage is mainly illite, with an average of 79%; Illite crystallinity index and chemical index is 0.25~0.39 and 0.31~0.7. During this period, the climate of the study area is mainly arid climate, with some warm and humid climate intermittent, paleoclimate can be divided into three stages: arid-semiarid Maastriachian, warm and moist semiarid early Danian, and the semiarid late Danian. Climate evolution is consistent with the same period of global climate change.

Key words: F/Q ratio; clay mineral; paleoclimate; Late Cretaceous; Paleocene; Nanxiong Basin