

福建平潭青峰老红砂中季风组分以及形成期研究

俞鸣同^{1,2}, 张红艳¹, 龚正权¹, 陈有喜¹, 王佳韡¹,
张 熠¹, 胡绍洁¹, 吴 惠¹

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007; 2. 湿润亚热带山地生态过程教育部重点实验室, 福建 福州 350007)

摘要: 先前研究认为老红砂是末次冰期沿海风沙沉积, 近期发现老红砂形成于末次间冰期。在福建平潭青峰典型老红砂分布区采集 114 个老红砂样品, 130 冬季风沙样品, 60 个夏季风沙样品做粒度测量和光释光测年。粒度测量显示冬季风沙粒度频率峰值出现在 400 μm 、夏季风沙 280 μm , 老红砂粒度频率峰值出现在 300 μm 与冬季风沙不同。夏季风沙和冬季风沙以 7:3 混合可拟合老红砂粒度分布, 表明青峰老红砂沉积期夏季风历时或强度远大于冬季风, 对应于气候暖期, 而不是末次冰期。老红砂剖面 4 个自然层光释光测年自下而上为 122.5 \pm 6.7 ka B.P.、97.7 \pm 6.1 ka B.P.、83.1 \pm 4.2 ka B.P.、61.9 \pm 3.4 ka B.P., 对应末次间冰期, 青峰老红砂是暖期气候的风沙响应。

关键词: 青峰老红砂; 夏季风沙; 冬季风沙; 末次间冰期

中图分类号: P534.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)03-0352-06

老红砂是中国南方沿海晚第四纪形成的弱固结、红色风沙沉积, 厚度几米至十几米, 主要分布在福建、广东两省, 山东、浙江, 海南等地也有少量分布。20 世纪 50 年代, 广东学者率先对广东沿海老红砂进行调查, 根据老红砂具有近岸分布、出现在沿海阶地或台地、以中-细砂沉积为主等特征, 认为老红砂属于海滩沉积, 被地壳运动抬升到岸上^[1-5]。80 年代后, 闽粤两省对老红砂进行了广泛的地质、地貌调查和技术研究。虽然一些学者坚持前述观点, 再论老红砂属于海相沉积^[6-12], 但是, 大量调查发现老红砂虽然分布于沿海, 多数分布在向风岸段, 并可出现在多种地貌单元, 分布高度可从海滩后缘至海拔 70 多米; 组成物质除了中-细砂和少量粘土, 不含海相微体生物, 这些现象有别于海滩砂, 老红砂属于风成堆积^[13-27]。此后, 有关老红砂的粒度分析、磁化率特征、海陆判别元素 B、Ga、Sr、Ba 等测量以及人工神经网络识别等多项实验证实, 老红砂属于沿海风沙沉积^[28-34]。

老红砂缺乏有机质, 直接对沉积物进行 ¹⁴C 测年有困难。早期老红砂定年主要以相关地貌年代或老红砂夹层泥炭测年等间接方法确定老红砂形成年代。20 世纪 90 年代后, 热释光(TL)测年技术

被引用于老红砂直接测年, 测得老红砂主要形成于末次冰期 68~9 ka B.P.^[25,26], 并发现老红砂相对集中于 68~42 和 30~10 ka B.P. 两个时期^[27]。

先前研究的结果, 老红砂被推测为末次冰期低海面广袤的大陆架砂和海滩砂被强劲的东北风搬运、沉积为沿海风沙^[28-34]。

2007 年, 光释光(OSL)测年技术被重新用于测量福建晋江老红砂, 测得二级台地老红砂年代为 74 ka B.P., 突破了先前老红砂测年 68 ka B.P. 的下限, 并推测三级台地老红砂应早于 125 ka B.P.^[35], 即老红砂形成年代可延伸到末次间冰期。2009 年, 本研究对福建平潭青峰老红砂典型剖面用套筒严格遮光采样, 由国土资源部环境监测中心用光释光(OSL)测得 4 层老红砂自下而上年代为 122.5 \pm 6.7 ka B.P.、97.7 \pm 6.1 ka B.P.、83.1 \pm 4.2 ka B.P.、61.9 \pm 3.4 ka B.P.(图 1), 结果与前人推测一致, 这导致了老红砂是否只是末次冰期沉积的质疑。

1 研究方法

福建平潭岛青峰老红砂、晋江市科任老红砂被认为是闽、粤老红砂保存完整, 具有典型性的老红砂剖面, 常被作为研究案例。本研究选择平潭青峰

收稿日期: 2013-05-02; 修订日期: 2013-11-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41210002)资助。

作者简介: 俞鸣同(1959-)男, 福建省福州市人, 教授, 理学博士, 主要从事第四纪研究。E-mail: ymt909@126.com

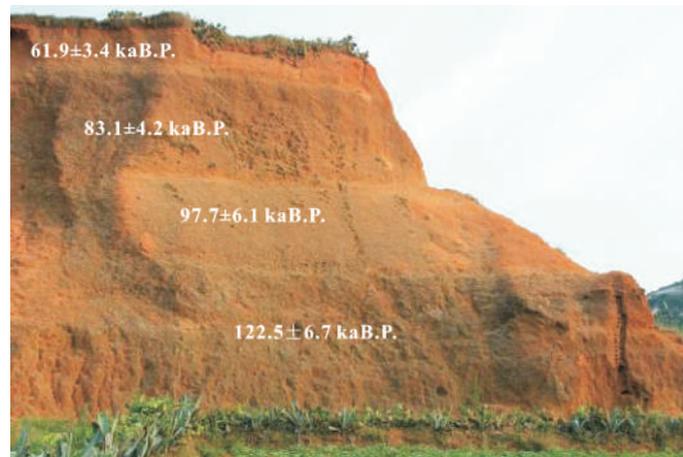


图1 福建平潭青峰老红砂沉积期及其年代^[36]

Fig.1 Qingfeng Old Red Sand deposition and their ages

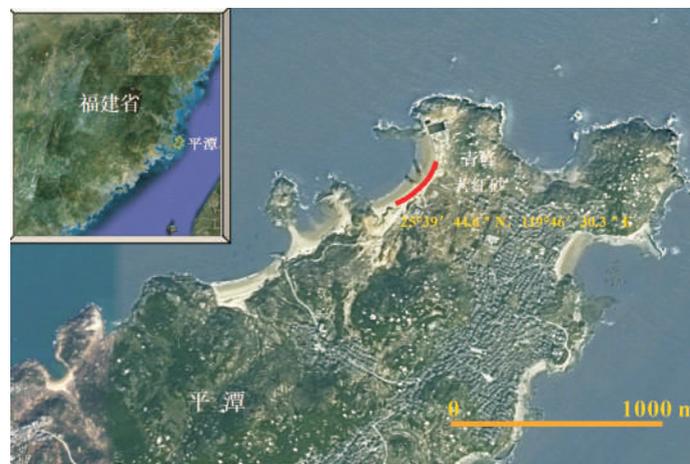


图2 研究区位置

Fig.2 Location of study area

沿海作为研究区(图2),以期研究成果具有代表性。

平潭岛位于闽中沿海,东濒台湾海峡,西临海坛海峡,地理坐标为 $25^{\circ}16' \sim 25^{\circ}44' \text{N}$, $119^{\circ}32' \sim 120^{\circ}10' \text{E}$,具有风力变化的常年记录(表1)。老红砂采样在平潭岛北部青峰老红砂剖面以10 cm间隔连续采集114个。季风风沙采样选择在老红砂附近,分别于2011年1月冬季风时期和2012年7月夏季风时期在海滩后缘以 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 网格布置接沙盘,以1 h间隔多批次采集冬季风沙、夏季风沙。

样品粒度测量用常规方法前处理,用10%的 H_2O_2 去有机质;用10%的HCl去碳酸钙等胶结物;用0.05N的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散样品并置于超声波振荡7 min。每个样品用Marstersizer2000连续测试3次,自动求取平均值为测试数据。

2 结果

被测试的114个青峰老红砂样品粒度频率分布稳定,特征基本一致,选择代表性样品测量结果列于下图(图3)。

老红砂粒度分布分为两部分。一部分出现在 $70 \sim 1\,000 \mu\text{m}$,是老红砂沉积的主体,平均含量占82.73%,峰值在 $300 \mu\text{m}$ 左右(图3)。另一部分在 $0.03 \sim 70 \mu\text{m}$,属于粉砂、粘土范畴,平均含量17.27%,为老红砂风化粘土物质。老红砂沉积参数平均粒径 $M_z=2.47$ 、分选系数 $\sigma=1.99$ 、偏度 $S_{k1}=0.67$ 、峰态 $K_c=1.93$ 。

2011年1月,冬季风沙采样日平均风速 8.2 m/s ,风向NE 45° ,采集的130个冬季风沙粒度频率分

表1 平潭岛常年各月最大频率风向与风速

Table 1 The maximum frequency wind direction and speed of each month of Pingtan Island

月份(月)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
风向	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	SSW	SSW	SSW	NNE	NNE	NNE	NNE
频率(%)	53	49	40	28	28	26	34	20	31	56	63	55
平均风速(m/s)	8.8	9	8.4	7.5	6.9	6.7	6.5	5.7	8.8	9.5	9.5	8.8
月最大风速(m/s)	18	18	18	16	24	15	16	18	34	24	20	18

*根据福建省平潭县气象资料,记录年代为1961~1980年。

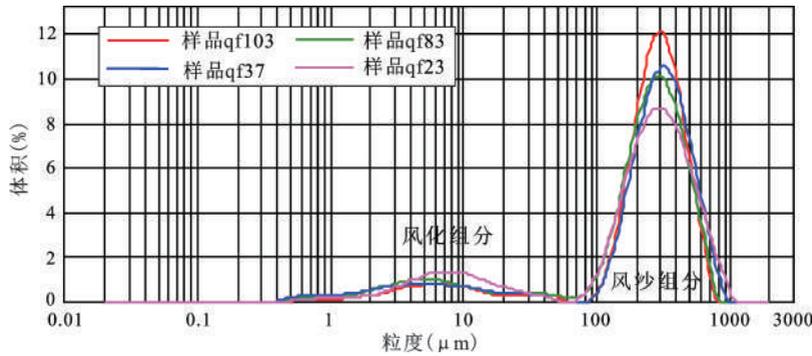


图3 青峰老红砂剖面样品粒度频率曲线

Fig.3 The frequency curves of Old Red Sand samples grain from Qingfeng

布峰值出现在400 μm左右。

2012年7月,夏季风沙采样日平均风速4.3 m/s,风向SW 40°,相同地点采集的60个夏季风沙粒度频率分布峰值出现在280 μm左右。

与老红砂粒度分布相比,冬季风沙偏向于老红砂粒度区间的粗粒端,夏季风沙偏向于老红砂中细粒端。将夏季风沙与冬季风沙按2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2不同比例充分混合,测量合成风沙的粒度频率分布(图4)。

粒度分析显示,老红砂既不同于冬季风沙、也不同于夏季风沙,将夏季风沙与冬季风沙以7:3混合后,粒度频率分布与老红砂相似(图5),即老红砂由7份夏季风沙和3份冬季风沙组成,老红砂沉积时夏季风历时或强度大约为冬季风的2倍,远比现代夏季风强盛(见表1)。

3 问题讨论

3.1 平潭青峰老红砂沉积的气候环境

青峰夏季风沙、冬季风沙与老红砂粒度分布的比较和合成实验表明,老红砂沉积特征与先前认为老红砂是末次冰期强劲的东北风对低海面大陆架砂、海滩砂搬运、沉积不相符合。青峰老红砂沉积时夏季风历时或强度远大于冬季风,也比冰

后期现代夏季风强(见表1),这种气候^[37]状态极大可能发生在比冰后期更暖的末次间冰期。世界各地第四纪冰芯,湖泊,树轮等众多材料研究已证实,末次间冰期的气候比冰后期更温暖。粒度实验结果与老红砂光释光测年123~62 ka B.P.的结果相符。近期,福建晋江老红砂剖面下部样品光释光测年也测到117.37 ka B.P.,认为老红砂年代可延伸到末次间冰期,老红砂多期沉积与气候暖期对应,末次盛冰期未见老红砂沉积^[37]。杨林海等对风沙地貌研究认为气候暖期有利于风沙成土和固定^[4],这可能是福建平潭,晋江老红砂剖面能弱固结,较好保存的原因。

3.2 老红砂的形成年代

老红砂测年方法经历3个阶段。早期用相关地貌年代法,将老红砂上覆风沙地貌年代、下伏阶地年代或洞穴动物群年代对比,认为老红砂是中更新世以来的沉积^[38];其后将老红砂上下夹层泥炭或碳质粘土用¹⁴C测年法间接确定老红砂形成年代为晚更新世晚期或中、晚期^[6,7,18,23,24];20世纪90年代后,热释光技术(TL)被用于广东、福建老红砂测年,认为老红砂主要形成于68~42 ka B.P.和30~10 ka B.P.两个相对集中期^[25-27],下限为68 ka B.P.。

2007年,光释光(OSL)技术重新测定了福建

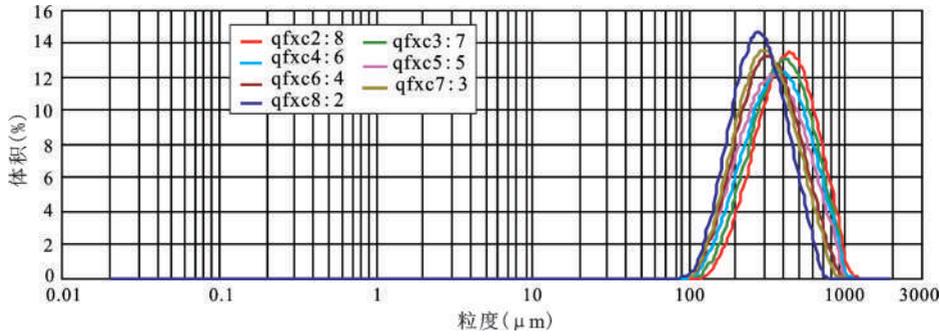


图4 不同比例合成风沙的粒度频率分布

Fig.4 The frequency curves of different proportions synthesis sand grain

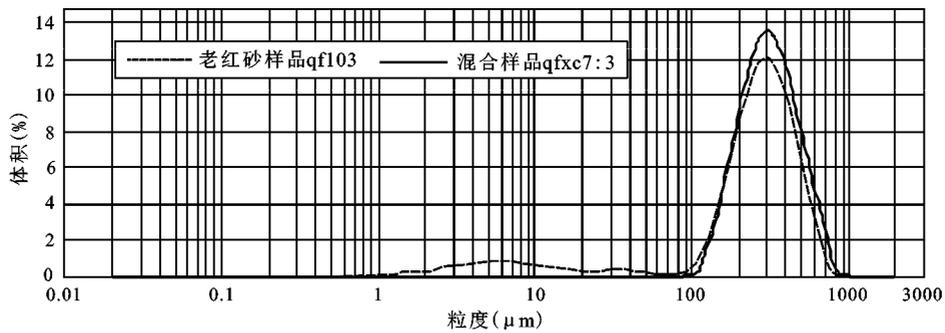


图5 合成风沙与老红砂粒度分布对比

Fig.5 The comparison of grain size frequency curves of synthetic sand grain and Old Red Sand

晋江老红砂年代为 74 ka B.P., 并推测老红砂可早于 125 ka B.P. [35]。这一测量结果突破了老红砂形成年代的下限, 引导人们对老红砂形成年代和机制的重新思考。近些年, 福建至少有 3 批次老红砂光释光(OSL)测年突破了 68 ka B.P. 下限, 认为老红砂可起始于末次间冰期。

造成测年差异可能是不同测年技术用于风沙测年的适宜性差异。热释光(TL)对样品计时的假设前提是样品埋藏时原有释光信号被热事件晒退, 埋藏后重新接受埋藏体辐射, 开始新计时。然而, 老红砂沉积几十厘米至数米历时几万年, 单位时间沉积覆盖甚少, 能使热晒退停止吗? 显然, 热晒退还在进行, 需要相当时间, 覆盖足够厚的沉积物后, 热晒退才停止, 样品才能开始真正计时, 热释光晒退机制的不确定性使得所测样品偏年轻。相比之下, 光释光(OSL)原理是光晒退。沉积物埋藏后遮光的敏感性远大于热敏感性, 即覆盖后光晒退较快停止, 计时的可靠性、准确性优于热释光。因此, 光释光对风沙测年可靠性和实用性普遍被接受。韩志勇等研究网纹红土也认为红化地层中的沙层用光释光测年较准确, 可以纠正其他

方法的测年错误[5]。

3.3 老红砂用于重建古季风代用指标

第四纪风沙用于重建不同时期季风变化过程, 不失为较好的研究材料, 它所代表的风力、风向气候物理意义十分明确。风沙沉积尤其反映第四纪长尺度的气候变化过程, 具有连续尺度长, 采集方便, 实验简单, 易于对比等优点。利用黄土的粒度变化重建古季风变化已取得了很好的成果[39,40]。

不同地区风沙沉积颗粒差异较大, 在重建季风变化过程中选用的代用指标的参数不同。安芷生等 1994 年利用洛川黄土 >20 μm 粒度变化重建 130 ka B.P. 以来冬季风变化[39]; 管清玉等用 >40 μm 粒度变化代表六盘山地区末次间冰期以来冬季风过程[40]; 其他研究者使用的粒度参数还有多种。老红砂作为沿海近源风沙, 粒度组分易于在不同季风实验期内采集、测量, 数据所确定的冬、夏季风沙参数具有实验依据, 真实性好。平潭青峰实验数据表明, 老红砂以 400 μm 粒径作为冬季风代用指标、以 280 μm 作为夏季风代用指标较符合真实情况。

4 结 论

青峰风沙粒度合成与老红砂粒度测量拟合实验表明,老红砂由夏季风沙、冬季风沙年复一年混合形成,以7:3比例含夏季风沙、冬季风沙组分。沉积时夏季风历时或强度远大于冬季风。与平潭岛现代夏季风、冬季风平均历时相比,青峰老红砂沉积出现在比现代更温暖的气候暖期,并非末次冰期。

青峰老红砂光释光测年数据表明,自下而上4个自然层年代为:122.5±6.7 ka B.P.、97.7±6.1 ka B.P.、83.1±4.2 ka B.P.、61.9±3.4 ka B.P.,处于末次间冰期,与风沙粒度研究的结论一致。当时年均气温与现代高,其5a、5b、5c阶段东亚季风旋回增强。至此,福建平潭、晋江等地至少3批次老红砂测年数据显示,老红砂形成年代可延伸至末次间冰期。

青峰老红砂是末次间冰期东亚季风旋回的产物,含有夏季风沙、冬季风沙组分,记录了末次间冰期季风变化的过程,可以280 μm粒径作为夏季风代用指标、以400 μm粒径作为冬季风代用指标,分别提取夏季风、冬季风变化信息,用于研究末次间冰期中国南方季风变化过程。

参考文献:

- [1] 曾昭璇.我国南海沿岸最近升降的问题[J].地理学报,1957,23(2):205~214.
- [2] 曾昭璇.韩江三角洲[J].地理学报,1957,23(3):255~273.
- [3] 刘以宣.粤东海岸升降问题新认识[C]//中国地理学会地貌专业委员会.中国地理学会1961年地貌学会讨论会论文摘要.北京:科学出版社,1961:111~112.
- [4] 杨林海,赖忠平,周杰,等.光释光测年和孢粉分析揭示的晚冰期以来科尔沁沙地演化过程[J].地理科学,2011,31(6):695~701.
- [5] 韩志勇,李徐生,陈英勇,等.鄱阳湖滨沙岭地区网纹层的顶界年代[J].地理科学,2012,32(1):110~115.
- [6] 张虎男,姚庆元,赵希涛.闽南粤东沿海“老红砂”沉积成因和时代的探讨[J].海洋地质与第四纪地质,1985,5(1):47~57.
- [7] 张虎男.闽南沿海“老红砂”的特征与成因[J].科学通报,1984,29(5):320.
- [8] 陈伟光,张虎男.再论“老红砂”的成因及其地质地貌意义[J].热带地理,1986,6(3):247~254.
- [9] 陈园田.台湾海峡和福建沿海晚更新世晚期海相地层[M]//梁名胜,张吉林.中国沿海第四纪对比研究.北京:科学出版社,1991:90~99.
- [10] 宗永强,李平日.粤东沿海“老红砂”的成因及利用改造问题[J].热带地理,1985,5(3):186~193.
- [11] 李建生.从东山一剖面讨论“老红砂”的成因[J].海洋通报,1986,5(4):44~47.
- [12] 杨怀仁,陈西庆.中国东部第四纪海面升降、海侵海退与岸线变迁[J].海洋地质与第四纪地质,1985,5(4):59~80.
- [13] 吴正,黄山,胡守真,等.华南海岸风沙地貌研究[M].北京:科学出版社,1995:1~146.
- [14] 吴正,王为.华南沿海老红砂的成因与古地理环境[J].中国科学(D辑),1997,27(6):537~542.
- [15] 吴正,冯文科,廖秉良,等.晚更新世末期南海北部陆架的古地理探讨[J].地理学报,1993,48(6):491~196.
- [16] 吴正,廖秉良,金志敏,等.南海北部外陆架残留砂表面结构及其环境意义[J].科学通报,1992,20:1887~1889.
- [17] 吴正,黄山,金志敏,等.华南沿海老红砂的成因与红化作用[J].地理学报,1994,49(4):298~306.
- [18] 李从先,陈刚,杨红君,等.对福建海岸晚第四纪地质若干问题的商榷[J].台湾海峡,1987,6(1):40~45.
- [19] 黄镇国.中国、日本晚更新世海岸古沙丘比较[J].热带地理,1993,13(1):1~12.
- [20] 曾从盛,陈居成,吴幼恭.闽东南沿海老红砂研究[M].北京:地质出版社,1999:1~74.
- [21] 曾从盛,陈居成,吴幼恭.闽东南沿海老红砂沉积特征与成因分析[J].海洋通报,1999,18(3):55~60.
- [22] 曾从盛,陈居成,吴幼恭.闽东南沿海老红砂与晚第四纪环境演变[J].中国沙漠,1999,16(2):110~114.
- [23] 朱孝宁,吴正,周曾权,等.粤东沿海“老红砂”成因再探[J].热带海洋,1988,7(4):46~53.
- [24] 朱孝宁.粤东海岸中段沙坝及“老红砂”沉积地貌的特征与演化[J].热带地貌,1988,9(1):18~62.
- [25] 吴正,王为,谭慧忠,等.闽粤西沿海老红砂的沉积年代[J].科学通报,2000,45(3):533~537.
- [26] 谭惠忠,吴正.闽粤沿海老红砂的热释光测年[J].中国沙漠,2001,21(4):393~396.
- [27] 吴正,王为.闽粤沿海老红砂多期沉积地层的发现及其意义[J].中国沙漠,2001,21(4):328~332.
- [28] 吴正,吴克刚.海南岛东北部海岸沙丘的沉积构造特征及其发育模式[J].地理学报,1987,42(2):129~141.
- [29] 吴正,廖秉良,金志敏,等.我国海岸沙丘石英砂表面结构特征再探[J].科学通报,1995,40(17):1602~1604.
- [30] 吴正.我国内陆沙漠与海岸沙丘石英颗粒表面结构的对比研究[J].中国沙漠,1995,15(3):201~206.
- [31] 吴正,廖秉良,金志敏,等.南海北部外陆架残留砂表面结构及其环境意义[J].科学通报,1992,20:1887~1889.
- [32] 王建华,梁致荣,郑卓,等.粤东及琼东北第四纪老红砂风成的若干证据[J].热带海洋,1998,17(1):51~58.
- [33] 曾从盛,陈居成,吴幼恭.闽东南沿海老红砂沉积特征与成因分析[J].海洋通报,1999,18(3):55~60.

- [34] 曾从盛. 闽东南沿海老红砂的地球化学特征[J]. 中国沙漠, 2000, **20**(3):248~251.
- [35] 张家富, 袁宝印, 周力平. 福建晋江“老红砂”的释光年代学及对南方第四纪沉积物释光测年的指示意义[J]. 科学通报, 2007, **52**(22):2645~2654.
- [36] 胡凡根, 李志忠, 靳建辉, 等. 福建晋江海岸带老红砂多期发育模式初步研究[J]. 第四纪研究, 2012, **32**(6):1207~1220.
- [37] Yongjin Wang, Hai Chen, R. Lawrence Edwards, et al. Millennial-scale and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224 000 years[J]. *Nature*, 2008, **451**:1090-1093.
- [38] 中国科学院南海海洋研究所. 华南沿海第四纪地质[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [39] 安芷生, S C Potter, J Chappell, 等. 最近 13 ka 洛川黄土堆积序列与格陵兰冰芯记录[J]. 科学通报 1994, **39**(24):2254~2256.
- [40] 管清玉, 潘宝田, 高红山, 等. 高分辨率黄土剖面记录的末次间冰期东亚季风的不稳定性特征[J]. 中国科学D辑, 2007, **37**(1):86~93.

The Monsoon Components in Qingfeng Old Red Sands and Their Formation Epoch, Pingtan Island, Fujian Province

YU Ming-tong^{1,2}, ZHANG Hong-yan¹, GONG Zheng-quan¹, CHEN You-xi¹,
WANG Jia-wei¹, ZHANG Yi¹, HU Shao-jie¹, WU Hui¹

(1. *College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China*; 2. *Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Process of the Ministry of Education, Fuzhou, Fujian 350007, China*)

Abstract: Old Red Sands mainly distributed in China's southeast coast and the islands are special red sand deposits during Quaternary. They were considered to be formed by vast continental shelf sands and beach sands transported under strong winter monsoon and deposited along the coast during 68-9 ka B.P., the last glaciation, low sea stage. In this study, 114 Old Red Sand samples, 130 winter wind sand samples and 60 summer wind samples were collected from typical Old Red Sand area Pingtan Qingfeng. The grain size measurements for the samples show that the size frequency distribution of winter wind sands peaked at 400 μm , of summer wind sands at 280 μm , and of Old Red Sands peaked at 300 μm . Which inconsistent with the winter wind sands. Experiments show that mixing summer wind sands sand winter wind sands with 7:3 can fit Old Red Sands grain-size distribution. It is indicated when Qingfeng Old Red Sands depositing, the lasted or intensity of the summer monsoon is much larger than the winter monsoon, which corresponds to the climate warm periods, rather than last glaciation. OSL dating for Qingfeng Old Red Sands section with 4 natural layer shows a bottom-up years of the 122.5 \pm 6.7 ka B.P., 97.7 \pm 6.1 ka B.P., 83.1 \pm .2 ka B.P., 61.9 \pm 3.4 ka B.P., mainly corresponding to the last interglacial, Qingfeng Old Red Sands formed during the last interglacial.

Key words: Qingfeng Old Red Sand; summer monsoon sand; winter monsoon sand; the last interglacial