

近 2 Ma 帕里西-维拉海盆沉积物中碎屑组分粒度特征及其物源和古气候意义

周 宇^{1,2,3}, 蒋富清^{1,2,4}, 徐兆凯^{1,2,4}, 方海超^{1,2,3}, 张 晋^{1,2}, 李安春^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 海洋国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室, 山东 青岛 266061)

摘要: 对帕里西-维拉海盆 PV090102 孔深海沉积物中碎屑组分进行了粒度分析。结果表明, 沉积物碎屑组分的平均粒径为 3.2 μm , 粒径总体变化范围在 0.5~32 μm , 粒度频率分布呈双峰负偏态特征。利用 Weibull 分布函数对粒度数据进行拟合, 分离出粗、细两个不同的端元组分。细粒端元的粒径分布范围较窄, 大多在 0.5~16 μm , 峰值较高, 众数粒径约为 2 μm , 其特征与北太平洋中部风尘一致, 推测主要为来源于亚洲大陆的风尘, 它的百分含量在 60%~90%, 是碎屑组分的主要物质来源。粗粒端元的粒径分布范围较宽, 约为 1.6~32 μm , 峰较扁平, 粒径的众数在 10 μm 左右, 主要是来自于周围海脊和岛弧的火山物质。PV090102 孔沉积物碎屑组分中不同粒度组分对近 2 Ma 以来亚洲大陆干旱和大气环流系统增强有很好的响应, 同时还记录了 0.5 Ma 以来西太平洋火山活动增强。这些研究结果表明西北太平洋沉积物的粒度组成有助于重建第四纪以来东亚大陆干旱和大气环流历史。

关键词: 帕里西-维拉海盆; 粒度特征; 亚洲风尘

中图分类号: P67 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)09-0086-08
doi: 10.11759/hyxx20140314001

深海沉积物中的风成沉积敏感地记录了地质历史时期大气环流和风尘源区的古气候状况, 提供了风尘源区古气候变化的重要线索^[1-4]。帕里西-维拉海盆处在盛行西风带的下风向, 并受东亚季风的影响^[5], 对亚洲大陆古气候变化极其敏感, 其风成沉积为研究亚洲大陆的古气候变化提供了良好载体。

放射性成因的 Sr、Nd 同位素^[6-7]研究结果表明帕里西-维拉海盆及北部的四国海盆中沉积物主要是亚洲大陆风尘物质以及周围海脊和岛弧的火山物质; 沉积物黏土矿物证据^[8-9]表明研究区沉积物中伊利石主要来源于亚洲风尘, 蒙皂石则源于火山物质的蚀变; 深海黏土粒度和稀土元素的综合研究^[10]证明研究区沉积物受风尘输入陆源物质的影响; 海盆内的铁锰结壳^[11]和层状硅藻席^[12]也记录了风尘的输入。以上研究均表明帕里西-维拉海盆存在着风尘沉积, 但是对于沉积物中风尘组分的粒度组成和分布特征, 风尘组分的含量, 及其所蕴含的古气候意义等, 目前仍缺乏系统研究。

由于沉积物的粒度对大气环流系统的变化比较敏感, 因此常被用于重建第四纪以来季风和西风环流系统的强度和演化过程^[1-2, 13-17]。海洋沉积物往往

是多种物源或动力过程混合的产物, 它的粒度频率分布曲线表现为多峰、连续光滑的特征, 其分布函数可以表示为各组分原型函数与其百分比乘积的和函数^[13-14, 18]。西北太平洋的风尘沉积一般都经历了长距离的搬运, 具有相似的粒度分布特征^[2], 据此可定性识别出风尘组分。选择合适的原型函数来拟合粒度频率分布函数可以定量获取单一粒度组分(如风尘)的信息^[13-16]。Weibull 分布函数由于自由度较大且可塑性较强, 可作为沉积物粒度分布的原型函数, 从而获得不同端元的粒度组分的特征(如众数值、分布范围和含量等)^[13-16], 进而用于探讨各端元组分的沉积学意义。这一方法已被成功地应用于中国黄土中不同成因组分的分离和判别^[13-16], 获得了亚洲大陆古气候变化的信息^[15-16]。

收稿日期: 2014-03-14; 修回日期: 2014-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40976026, 41376064); 全球变化与海气相互作用专项(GASI-04-01-02); 中国科学院战略性先导科技专项(A)类(XDA11030302)

作者简介: 周宇(1988-), 男, 四川广安人, 硕士研究生, 主要从事海洋沉积学研究, 电话: 0532-82898532, E-mail: zhubyn@sina.com; 蒋富清, 通信作者, 男, 副研究员, 电话: 0532-82898644, E-mail: fqjiang@qdio.ac.cn

迄今对帕里西-维拉海盆沉积物粒度的研究工作较少,徐兆凯等^[10]利用近代深海黏土粒度作为辅助手段探讨了海盆沉积物特征和物质来源;明洁^[9]运用粒径-标准偏差法分离出的敏感粒级组分研究了海盆内底流的活动;孟庆勇^[19]阐述了帕里西-维拉海盆全样沉积物的粒度分布特征。但是,对于研究区沉积物中不同粒级组分代表的物源信息,以及它们在古气候研究中的意义缺乏系统研究。

本文对西北太平洋帕里西-维拉海盆近 2 Ma 以来的一个沉积剖面中碎屑组份的粒度进行了分析,通过 Weibull 分布函数进行了不同端元的分离,探讨了端元组分的物质来源及其贡献,进而通过不同粒级和端元组分的含量变化,探讨了其古气候意义。

1 区域地质背景

帕里西-维拉海盆是西北太平洋的一个弧后盆地(图 1),东邻西马里亚纳海脊,北接四国海盆,西部是九州-帕劳海脊,南部是复杂的岛弧、海沟和断裂带系统^[8-9, 19]。以中部的帕里西-维拉裂谷为界,海盆东部地形平缓,西部则很不平坦。海盆的扩张于 12 Ma 前停止^[20],第四纪以来处在缓慢的沉降中^[21]。

海底沉积物主要为黄褐色、红褐色或褐色远洋黏土^[8-9, 19]。由于海盆普遍位于 CCD 以下,所以不含钙质组分,部分站位含较丰富的硅藻、放射虫及硅质海绵骨针^[8-9, 12, 19]。海盆内普遍存在火山成因物质和铁锰结壳(核)^[8-9, 11, 19]。

帕里西-维拉海盆最主要的表层洋流——北赤道流,是低纬度地区长期盛行的东北信风所产生的风海流,受地转偏向力的影响,在 10°~20°N 之间自东向西流动^[22]。在四国海盆和帕里西-维拉海盆里呈逆时针流向的南极底层水^[23]是海盆内最主要的底层流。

2 材料和方法

本文的研究样品(PV090102孔)取自西北太平洋帕里西-维拉海盆西部。由中国科学院海洋研究所的“科学一号”考察船于2003年用重力取样器采集(图 1)。柱状样总长度为388 cm,取样水深4 350 m。沉积物主要由黄褐色黏土组成,并含红褐色与褐色黏土夹层。沉积物涂片分析表明,长英质矿物含量普遍在80%以上^[8-9, 19],其次为自生矿物和火山玻璃,含少量硅藻和放射虫。

柱状样年代学框架采用孟庆勇古地磁分析结果^[19],其它层位年代学数据利用线性内插与外推计算获得。古地磁分析结果表明该孔记录了帕里西-维拉海盆近 2 Ma 的沉积历史^[19]。由于底部样品取样时扰动较大,因此仅对上部 378 cm 的样品进行了研究。每隔 4 cm 取样,共计取样 108 个(其中 13 个重复样),用于粒度分析。

为了获得沉积物中的碎屑组分,通过顺序淋滤方法,依次去除海盐,Fe-Mn 氧化物和氢氧化物^[11]、生物硅^[12]和有机质。具体方法为^[24]: (1)称取全样约 200 mg,用超纯水洗盐两次; (2)加入 0.25 mol/L 盐酸羟胺 10 mL,室温下在摇床上震荡(速度为 125 r/min)反应 12 h,然后离心,倒去上清液,用超纯水反复清洗 3 次; (3)加入 1 mol/L NaOH 10 mL,室温下在摇床上震荡(速度为 125 r/min)反应 12 h,离心后倒去上清液,用超纯水反复清洗 3 次; (4)加 5% H₂O₂ 10 mL,室温下在摇床上震荡(速度为 125 r/min)反应 12 h,离心后倒去上清液,用超纯水反复清洗 3 次,最终获得碎屑组分。最后加六偏磷酸钠(0.05 mol/L)2.5 mL 分散样品,以用于上机测试碎屑组分的粒度组成。

粒度分析是在中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室使用 Cilas-940L 型激光粒度仪完成。该粒度仪的测试范围为 0.3~2 000 μm,粒度间距 ϕ 为 1/4,重复测量的相对误差小于 2%。沉积物粒度参数采用 McManus 矩法公式^[25]计算得出。

粒度组分分离使用 Sediment Component Analysis 2.0 软件完成^[13-16]。其原理是利用 Weibull 分布函数对实测粒度数据进行拟合,以拟合残差最小为目的

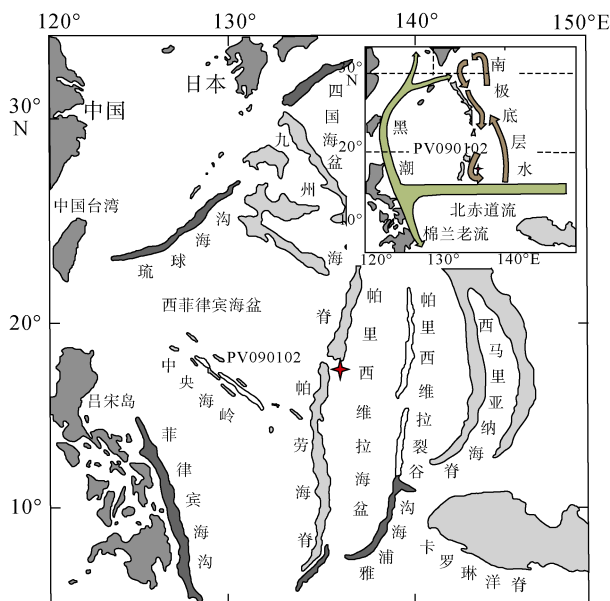


图 1 采样点地理位置图

Fig.1 Geological map of the study area and the sampling site

标,从数学上分离出不同的粒级组分^[13-16]。本文所有数据拟合残差在 0.7~1.65 之间,平均为 1.12。

3 结果

PV090102孔沉积物中碎屑组分的粒度分析结果如图2所示,其中粗、细组分众数粒径和百分含量由 Weibull 分布函数拟合所得。碎屑组分主要由黏土组

成,其次为粉砂;粒度总体较细,平均粒径变化范围为3~3.4 μm ,平均为3.2 μm 。近2 Ma 以来,碎屑组分的粒度参数随深度增加呈现出规律性变化,2~0.5 Ma(约116 cm 处),碎屑组分的平均粒径逐渐减小,黏土的含量逐渐增加,粉砂的含量逐渐减少;0.5 Ma 以来的变化则相反,平均粒径逐渐增加,黏土的含量逐渐减少,而粉砂的含量逐渐增加。

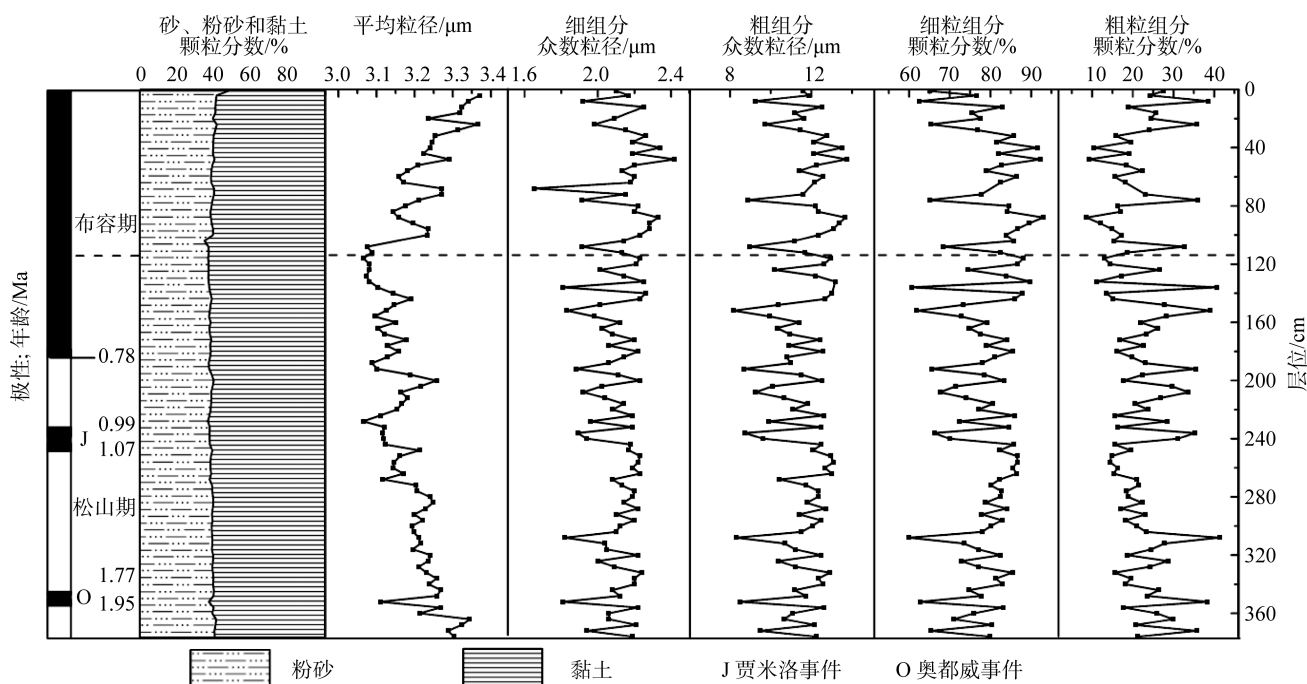


图2 PV090102孔碎屑组分粒度组成和分布

Fig.2 Grain size composition and distribution of detrital sediment for core PV090102

PV090102孔碎屑组分的粒度频率曲线如图3所示(典型样品:124~126 cm,图中还分别给出了碎屑组分的Weibull拟合曲线和组成它的两个组分的分布曲线)。近2 Ma 以来,几乎所有样品中碎屑组分的粒度频率分布都具有双峰(双众数)特征,呈负偏态。粒径总体分布范围为0.5~32 μm 。

图3还示出利用 Weibull 分布函数对实测粒度数据拟合后的结果。从图3中可以看出,PV090102孔碎屑组分双峰态的粒度分布曲线可以分解为两条不同曲线。其中细粒组分粒度分布在0.5~16 μm 之间,它的平均粒径和与之相近的众数粒径范围约为1.7~2.4 μm (平均约为2 μm),在碎屑组分中的含量一般在60%~90%(图2),这一组分的基本特征是粒度细、粒度分布范围较窄,且含量较高(图3)。粗粒组分的粒度大致分布在1.6~32 μm 之间,其平均粒径和与之相近的众数粒径范围约为8.2~13.7 μm (平均在10 μm 左右),其含量占碎屑组分的10%~40%(图2),粗粒组分

的基本特征是粒度粗、峰较扁平、分布峰度低且有着更宽的分布范围(图3)。

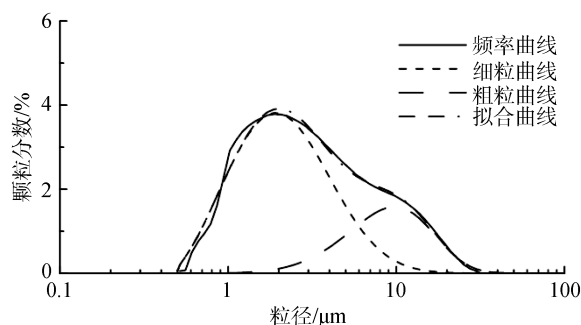


图3 PV090102孔一个典型样品的粒度频率曲线

Fig.3 Frequency curve of one typical sample from core PV090102

4 讨论

4.1 物源分析

对于一个沉积体系,双峰态的粒度分布可能是

由两种原因造成的,一是两种不同来源物质的混合,二是同一物源但不同动力条件作用的结果^[26]。基于 Rb-Sr 和 Nd 同位素研究结果,帕里西-维拉海盆^[6]及其西部的西菲律宾海盆^[24]和北部的四国海盆^[7]沉积物是由同位素特征截然不同的两种来源物质的二端元混合物,一是古老的亚洲大陆来源的风尘,另一个是新生岛弧来源的火山物质。因此我们推测 PV090102 孔沉积物中碎屑组分的粒度双峰是由于亚洲大陆风尘物质和周围海脊及岛弧的火山物质这两种不同的物质来源的混合造成的,而并非同一物源在不同动力条件下作用的结果,两个峰分别代表了这两个不同来源的端元组分。

我们利用 Weibull 分布函数获得的 PV090102 孔碎屑组分细粒端元的组分粒度分布范围在 0.5~16 μm ,众数为 2 μm 左右,这与北太平洋风尘沉积的粒度组成和分布特征非常类似^[2](图 4, PV090102 样品: 312~314 cm, 北太平洋风尘样品: ODP885/886 孔^[2], 图例中的数据为各组分众数粒径,图中还分别给出了碎屑组分的 Weibull 拟合曲线和组成它的两个组分的分布曲线)。孙东怀等^[14]通过 Weibull 分布函数对中国黄土双峰态的粒度分布进行了定量分离,认为中国黄土中粗粒组分是短距离悬移组分,通常搬运距离不超过 1 000 km,主要是由低空环流系统——东亚季风搬运的,而细粒组分是长距离悬移的产物,是由高空环流系统——西风带搬运的,其分布特征与日本海、北太平洋风尘的粒度分布类似。尽管北太平洋中部远离亚洲大陆,但其中的陆源组分被认为主要来源于亚洲大陆的风成沉积,通过西风急流被搬运至北太平洋,由于是长距离搬运的产物,其粒度组成很少大于 16 μm ^[2]。帕里西-维拉海盆距离亚洲大陆粉尘源区超过 3 000 km,缺少河流来源的沉积物^[27],细粒端元的粒度组成与北太平洋中部沉积物相似,说明 PV090102 孔沉积物中的细粒组分主要是亚洲大陆风尘物质。研究区内黏土矿物分析结果也表明,黏土粒级组分主要是由亚洲风尘来源的伊利石组成^[8-9],这有力地证明细粒端元主要来源于亚洲风尘。此外,Weibull 函数分离结果表明,细粒端元组分在碎屑中的百分含量在 60%~90%,说明碎屑组分中大部分物质来源于亚洲大陆风尘,这与本孔黏土矿物的半定量分析结果一致^[8]。

由于依据放射性成因的 Rb-Sr 同位素的证据已经证明该海区的碎屑组分除了亚洲大陆风尘外,还有一个火山物质端元^[6],因此我们判断,经过

Weibull 分布函数拟合后分离出的粗粒端元主要代表了来自周围岛弧和海脊的火山物质。研究区内沉积物涂片鉴定结果也显示,除风尘组分的细粒长英质矿物外,碎屑组分中还普遍含有部分粗粒火山玻璃^[8-9, 19],这进一步证明粗粒端元主要来自于火山物质。

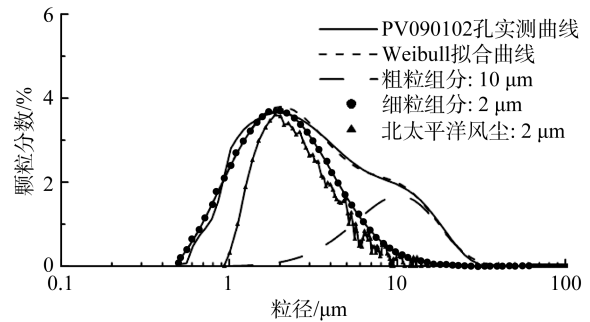


图 4 PV090102 孔碎屑组分和北太平洋风尘粒度分布特征对比

Fig.4 Comparison of grain-size distribution characteristics between PV090102 detrital sediment and Aeolian dust from the northern Pacific Ocean

4.2 古气候意义

根据物源分析和 Weibull 分布函数的拟合结果(图 4),可以判断<2 μm 组分主要来源于亚洲大陆的风尘,>10 μm 组分主要来源于火山岛弧和海脊。PV090102 孔<2 μm 组分百分含量在 2~0.5 Ma 呈逐渐增加的趋势,而>10 μm 火山组分百分含量的变化则与其相反,呈逐渐减少的趋势,表明此阶段东亚大陆风尘物质对碎屑组分的贡献逐渐增强,而火山物质的贡献则相对减弱。沉积物中反映低矫顽力磁性矿物(如磁铁矿)和高矫顽力磁性矿物(如赤铁矿)含量相对比例的参数 S300^[19](图 5)和黏土矿物伊利石^[8-9]的证据表明,近 2 Ma 以来帕里西-维拉海盆沉积物中源于亚洲大陆的风尘物质输入逐渐增加。这与中国灵台黄土粉尘堆积速率^[28]和北太平洋中部风尘通量^[3]以及黄土石英粒径(相对于赵家川黄土剖面进行标准化)^[17]的变化趋势一致(图 5)。近 2 Ma 来黄土粉尘堆积速率及北太平洋风尘通量的增加反映了亚洲内陆干旱化趋势的增加^[3, 28],而黄土高原石英平均粒径的增大表明东亚大气环流系统的强度逐渐增强^[17]。通过以上对比分析,我们认为 PV090102 孔粒度组分中<2 μm 粒级含量的变化对这一时期东亚气候变化具有明显的响应,很好的指示了源区干旱化强弱以及东亚大气环流系统强度的变化,因此可以作为亚洲大陆古气候状况的一个示踪指标。

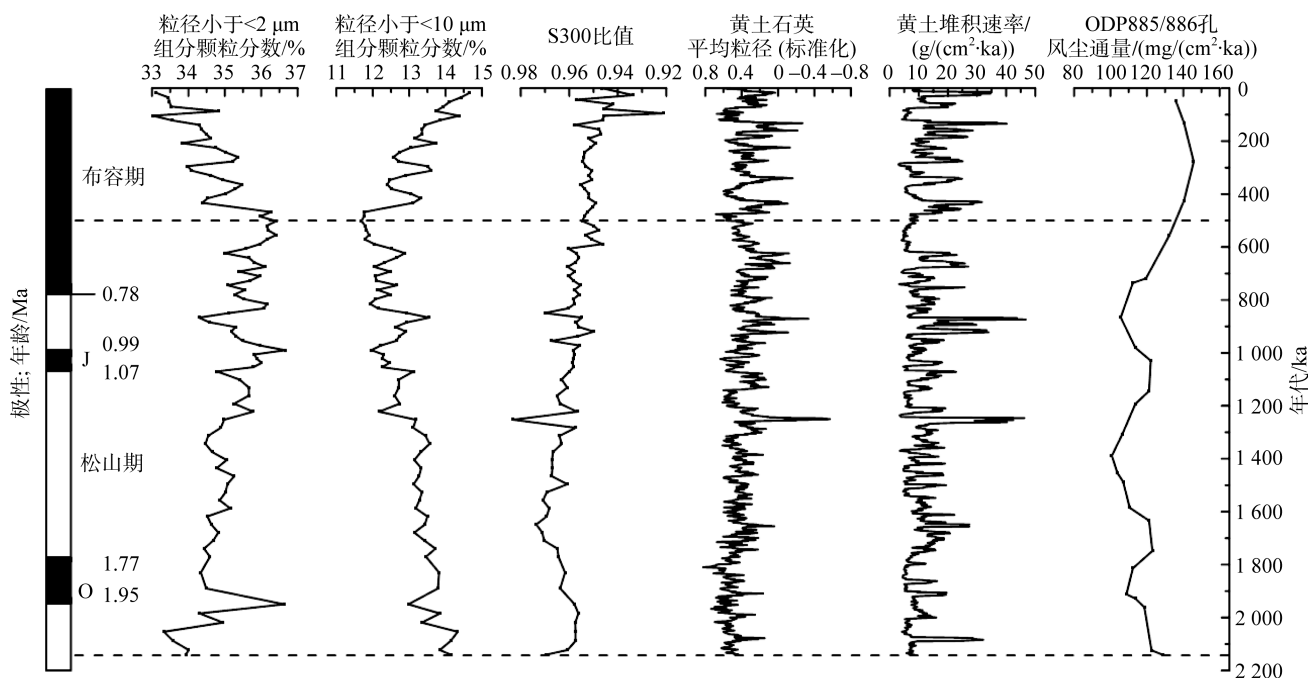


图5 PV090102孔各粒级组分百分含量和S300比值,黄土石英平均粒径,黄土堆积速率和北太平洋ODP885/886孔风尘通量对比

Fig.5 Comparison between grain-size populations and S300 of core PV090102, mean grain-size of loess quartz, mass accumulation rate of Chinese loess and eolian dust flux of core ODP 885/886 in the North Pacific

黄土石英粒径^[17]变化曲线显示最近0.5 Ma东亚大气环流系统的强度明显增强(图5)。黄土高原的粉尘堆积速率^[5, 16, 28]和北太平洋风尘通量^[1, 3-4]等结果表明最近0.5 Ma亚洲内陆干旱化程度进一步加剧(图5),这一演化趋势在黄土高原孢粉的演化中也存在记录^[29]。此外,前人对PV090102孔S300比值^[19]以及帕里西-维拉海盆西部本哈姆隆起风尘通量^[30]的研究结果也证实了0.5 Ma以来亚洲大陆风尘物质输入的增加以及东亚大气环流强度的增强。与之矛盾的是0.5 Ma以来PV090102孔碎屑组分中<2 μm的风尘组分逐渐减少,而>10 μm的火山组分逐渐增加(图5),这表明本阶段内亚洲大陆风尘对碎屑组分的相对贡献逐渐减少,而火山物质的贡献却逐渐增加,与Asahara等^[6]利用Sr同位素比值计算出的西北太平洋风尘物质的相对百分含量变化趋势一致。我们认为产生这一现象可能有两个原因,其一:仔细对比PV090102孔细粒组分的众数粒径,可以发现0.5 Ma以来细粒组分的众数粒径(平均2.18 μm)较2~0.5 Ma(平均2.09 μm)有增大的趋势(图2),这与黄土石英粒径的变化一致,很可能说明由于0.5 Ma以来东亚大气环流强度的进一步增强,导致了风尘组分粒度增加,从而使<2 μm粒级组分含量降低。然而,

由于帕里西-维拉海盆远离风尘源区,这种由于风力增强而导致的沉积物粒度增加十分有限。其二:这可能与这一时期西太平洋火山活动的增强有关。构造学和岩石学证据^[31]表明位于帕里西-维拉海盆北部四国海盆以东的伊豆-小笠原海脊在本阶段存在明显的火山活动。中更新世以来,全球气候变冷,活动性逐步增强南极底层水^[9, 32]不仅能携带更多物质进入研究区,还可以加强对周围海脊的剥蚀,使得输入帕里西-维拉海盆的火山物质增加,导致了碎屑组分中粗粒组分(>10 μm)的含量增加,从而使得<2 μm的风尘组分的相对含量降低。此外,由于PV090102孔中的风尘组分的分布范围是0.5~16 μm,因此<2 μm的风尘组分并不代表从亚洲大陆输入到研究区的所有风尘组分,<2 μm风尘组分相对含量的减少,并不意味着亚洲风尘输入的减弱;相反,正如上文所述0.5 Ma以来细粒组分(<2 μm)的减少恰是对亚洲大气环流增强,从而带来更多粗粒风尘物质的一种响应。

因此,PV090102孔中的不同粒度组分近2 Ma以来的变化规律,不仅记录了大气环流状况及亚洲大陆干旱历史,同时还指示了西太平洋火山活动的强弱和火山物质的输入历史。

5 结论

本文分析了 PV090102 孔沉积物中碎屑组分的粒度特征, 得出了如下结论。

1) 近 2 Ma 以来 PV090102 孔沉积物的粒度频率分布呈双峰负偏态分布特征, 两个峰分别代表不同的物源。利用 Weibull 分布函数对实测粒度数据进行拟合, 分离出粗、细两个不同的端元组分, 其中细粒端元的众数约为 2 μm , 代表来自亚洲大陆的风尘组分, 它的碎屑组分中的含量在 60%~90%, 是碎屑组分的主要物质来源; 而粗端元的众数在 10 μm 左右, 主要是来自于周围海脊和岛弧的火山物质。

2) PV090102 孔中不同粒度组分不仅记录了近 2 Ma 以来亚洲大陆干旱化程度和东亚大气环流系统增强的趋势, 还指示了 0.5 Ma 以来更多火山物质的输入, 为研究第四纪以来东亚大气环流系统的强弱和路径、亚洲大陆干旱历史以及西北太平洋火山活动历史提供了长时间序列的示踪指标。

致谢: 本文粒度数据的 Weibull 分布函数拟合是兰州大学西部环境教育部重点实验室孙东怀教授帮助分析的, 在此深表感谢。“科学一号”科考船上的全体科学家和船员在样品采集过程中付出了辛勤劳动; 中国科学院海洋研究所王红莉实验师在粒度分析中给予了大力支持和帮助, 在此一并致谢。

参考文献:

- [1] Rea D K. The paleoclimatic record provided by eolian deposition in the deep sea: The geologic history of wind [J]. *Reviews of Geophysics*, 1994, 32(2): 159-195.
- [2] Rea D K, Hovan S A. Grain size distribution and depositional processes of the mineral component of abyssal sediments: Lessons from the North Pacific [J]. *Paleoceanography*, 1995, 10(2): 251-258.
- [3] Rea D K, Snoeckx H, Joseph L H. Late Cenozoic eolian deposition in the North Pacific: Asian drying, Tibetan uplift, and cooling of the northern hemisphere[J]. *Paleoceanography*, 1998, 13(3): 215-224.
- [4] Hovan S A, Rea D K, Pisias N G, et al. A direct link between the China loess and marine $\delta^{18}\text{O}$ records: aeolian flux to the north Pacific [J]. *Nature*, 1989, 340(27): 296-298.
- [5] An Z. The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19(1): 171-187.
- [6] Asahara Y, Tanaka T, Kamioka H, et al. Provenance of the north Pacific sediments and process of source material transport as derived from Rb-Sr isotopic systematic [J]. *Chemical Geology*, 1999, 158(3): 271-291.
- [7] Mahoney J B. Nd and Sr isotopic signatures of fine-grained clastic sediments: A case study of western Pacific marginal basins [J]. *Sedimentary Geology*, 2005, 182(1): 183-199.
- [8] 靳宁. 帕里西维拉海盆西北部海域黏土矿物分布特征研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2006.
- [9] 明洁. 东菲律宾海帕里西维拉海盆第四纪沉积特征和物质来源及其古环境意义[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2013.
- [10] Xu Z K, Li A C, Jiang F Q, et al. Geochemical character and material source of sediments in the eastern Philippine Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(6): 923-931.
- [11] Xu Z K, Li A C, Jiang F Q, et al. Paleoenvironment evolution of the East Philippine Sea recorded in the new-type ferromanganese crust since the terminal Late Miocene [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, 50(8): 1179-1188.
- [12] 熊志方, 李铁刚, 翟滨, 等. 低纬度西太平洋末次冰期 *Ethmodiscus rex* 硅藻席粘土矿物特征及形成机制启示[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2010, 35(4): 551-562.
- [13] Sun D H, Bloemendal J, Rea D K, et al. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 152(3): 263-277.
- [14] 孙东怀. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义[J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 327-335.
- [15] Sun D H, An Z, Su R, et al. Eolian sedimentary records for the evolution of monsoon and westerly circulations of northern China in the last 2.6 Ma [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2003, 46(10): 1049-1059.

- [16] 孙东怀, 鹿化煜. 晚新生代黄土高原风尘序列的粒度和沉积速率与中国北方大气环流演变[J]. 第四纪研究, 2007, 27(2): 251-262.
- [17] Sun Y, Clemens S C, An Z, et al. Astronomical timescale and palaeoclimatic implication of stacked 3.6-Myr monsoon records from the Chinese Loess Plateau [J]. Quaternary Science Reviews, 2006, 25(1): 33-48.
- [18] Ashley G M. Interpretation of polymodal sediments [J]. The Journal of Geology, 1978, 411-421.
- [19] 孟庆勇. 西太平洋特定海域沉积物的地磁场相对强度研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2009.
- [20] Okino K, Ohara Y, Kasuga S, et al. The Philippine Sea: new survey results reveal the structure and the history of the marginal basins [J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26 (15): 2287-2290.
- [21] Scott R, Kroenke L. Evolution of back arc spreading and arc volcanism in the Philippine Sea: Interpretation of Leg 59 DSDP results [J]. Geophysical Monograph Series, 1980, 23: 283-291.
- [22] 张弦, 俞慕耕, 江伟, 等. 菲律宾海及其邻近海区的水文特征[J]. 海洋通报, 2004, 23(1): 8-14.
- [23] Lee I, Ogawa Y. Bottom current deposits in the Miocene-Pliocene Misaki Formation, Izu forearc area, Japan [J]. Island Arc, 1998, 7(3): 315-329.
- [24] Jiang F, Frank M, Li T, et al. Asian dust input in the western Philippine Sea: Evidence from radiogenic Sr and Nd isotopes [J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2013, 14(5): 1538-1551.
- [25] McManus J. Grain size determination and interpretation [C]//Tucker M. Techniques in Sedimentology, Oxford, U K: Blackwell Scientific Publications, 1988: 63-85.
- [26] Visher G S. Grain size distributions and depositional processes [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1969, 39(3): 1074-1106.
- [27] 徐兆凯, 李安春, 李铁刚, 等. 东菲律宾海表层沉积物常量元素组成及地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30 (6): 43-48.
- [28] Sun Y, An Z. Late Pliocene Pleistocene changes in mass accumulation rates of eolian deposits on the central Chinese Loess Plateau [J]. Journal of Geophysical Research, 2005, 110(D23101), doi: 10.1029/2005JD006064.
- [29] Wu F L, Fang X M, Ma Y Z, et al. Plio-Quaternary stepwise drying of Asia: evidence from a 3-Ma pollen record from the Chinese Loess Plateau [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007, 257(1): 160-169.
- [30] Jiang F Q, Frank M, Li T G, et al. A dustier world since MIS12 inferred from Sr and Nd Isotopes of sediments in the Western Philippine Sea[J]. Mineralogical Magazine, 2013, 77(5): 1387.
- [31] Taylor B. Rifting and the volcanic-tectonic evolution of the Izu-Bonin-Mariana arc[C]//Taylor B, Fujioka K, Janecek T R, et al. Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results (126). College Station, TX: Ocean Drilling Program, 1992: 627-651.
- [32] 黄永祥. 多金属结核的分布规律[M].北京: 地质出版社, 1992.

Grain-size distribution of detrital sediment in the Parece Vela Basin and its implication of provenance and palaeoclimate over the last 2 Ma

ZHOU Yu^{1, 2, 3}, JIANG Fu-qing^{1, 2, 4}, XU Zhao-kai^{1, 2, 4}, FANG Hai-chao^{1, 2, 3},
ZHANG Jin^{1, 2}, LI An-chun^{1, 2}

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Received: Mar., 14, 2014

Key words: the Parece Vela Basin; grain size characteristics; Asian dust

Abstract: Grain-size analysis on the detrital fraction of deep-sea sediments from the Parece Vela Basin shows that the grain size ranges from 0.5 to 32 μm (mean grain size=3.2 μm), and the grain size distribution appears to be bi-modal characteristics and negative skewness. Weibull distribution function is used to fit the grain-size distributions of each sample, and two different end-member components are separated from each sample. The fine-grained fraction shows a distinct size mode at about 2 μm in the range of narrow distribution (mainly 0.5~16 μm), which coincident with the eolian dust of the North Pacific. We argue that this fraction is mainly derived from Asian dust and is the major component (60%~90%) of the detrital sediment. The coarse fraction is characterized by a wider size range (about 1.6~32 μm), a flatter size distribution, and a size mode at about 10 μm . The coarse fractions are mainly derived from the ridges and islands in and around the Parece Vela Basin. The different size fraction of core PV090102 responses well to the enhanced aridity in the Asian continent and the intensified atmospheric circulation over the last 2 Ma, as well as the strengthened volcanic activity of the Western Pacific since the last 0.5 Ma. This study shows that the grain size composition of the detrital sediment in the Western Pacific is helpful to reconstruct the history of Asian aridity and atmospheric circulation since Quaternary.

(本文编辑: 刘珊珊)