

# 沉积物物源分析的现状\*

## THE STATUS AND DEVELOPMENTS IN SEDIMENTARY PROVENANCE ANALYSIS

吴世敏 陈汉宗

(中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

沉积物物源分析是盆地分析的重要组成部分之一,它的研究将有助于源区与沉积区的关系,沉积物搬运的路径及距离,物源区的地理位置及大地构造背景,沉积区的沉积体系分析等问题的解决。同时也是古海洋学、石油地质学中重要的研究课题。随着先进分析手段,如电子探针、离子探针、等离子质谱技术、同位素测年、阴极发光等的使用,沉积物(特别是单颗粒碎屑矿物)所携带的物源信息的大量挖掘变得可行,物源区资料的应用前景也更为广泛。所有这些促使沉积物物源的研究得到长足发展,其表现主要在以下几个方面。

### 1 碎屑模型在物源分析中的应用

对骨架颗粒在物源分析的应用开始只注意其物理性质,如碎屑结构成熟度,这容易为主观因素所干扰。后来,不同学者根据现代和古代的碎屑岩的成分统计提出反映不同构造背景的碎屑模型。Valloni 1981,1985年利用现代深海砂样品的测试,采用 QFL 三端元图解,划分出大陆基底、增生基底等7类构造背景。孟详化教授1993年在此基础上增加了稳定克拉通内浅海盆地型和裂谷及断陷盆地。Dickinson 1979,1983年统计已知大地构造背景砂岩中的骨架颗粒组分,采用 QFL,  $Q_mFL_1$ ,  $Q_pL_1L_s$ ,  $Q_mPK$  等端元图,鉴别出陆块、岩浆弧、再旋回造山带3个主要板块构造物源区及7个次级物源区。这些端元模式图的数据来源于现代和古代砂岩,并广泛用于板块构造背景判别及物源区分析,但近10 a 来这些模式并没有得到更深入的改

进,这也许与人们开始较多关注单颗粒化学成分的变化有关。只是在具体的镜下统计方法上,Ingersoll 1984年将大块岩屑中的砂粒级晶体和颗粒归并到矿物晶体端元,而非岩屑端元,提出 GAZZI-DICKINSON 计点法,有别于传统的计点法,这样可以排除多次旋回的干扰,从而更多地提取来自物源区的信息。Rooney 1994年进一步指出 GAZZI-DICKINSON 法与颗粒大小有关,它要求颗粒粒径大于  $62.5 \mu m$ ,而颗粒的大小变化势必影响 Q, F, L 数值的统计结果,从而降低对物源判断的准确性。而且沉积物中含有较多的成岩基质,这些基质可以来自不同母岩区,所以仔细鉴别这些基质的特定来源是至关重要的。为此,针对细粒的泥质砂岩,他提出应该结合光学及 X 光能谱分析,将细粒的基质以及蚀变产物复原,并估算出改正系数,求出考虑改正系数后的 Q, F, L 值,称之为新 GAZZI-DICKINSON 计点法。笔者以为,镜下颗粒的计点方法有所改变,也就是说,原来 Valloni 及 Dickinson 提出的 QFL 等碎屑模型赖以存在的基础改变了,其模型也应作相应的调整,不能照搬。

### 2 重矿物在物源分析中的应用

重矿物分析应用于物源区评价已有很长历史了,

\* 中国科学院资源与生态环境研究重大项目课题 (KZ951-B1-406-02) 及南海海洋研究所所长基金资助。

收稿日期:1997-12-29;修回日期:1998-06-28

它是一种非常重要和应用广泛的技术。一开始主要注重重矿物的物理、光学等性质,如颜色、形状及属性等。但这易受主观因素的限制,如矿物颗粒的外形描述包括棱角状、次棱角状、次磨圆状、磨圆状、极圆状、自生及它生等等,还有很多矿物的颜色也是渐变的,所有这些描述界限都是比较模糊的,特别是由不同分析者鉴定时,应用起来更应谨慎。随着电子探针的应用,单颗粒重矿物的地球化学分异特征得到充分利用,不少学者针对不同地区利用不同的重矿物(如辉石、角闪石、电气石、锆石、石榴石、尖晶石等)分析提出了判断物质来源的指标和端元图;如 Leterrier 1982年对爱尔兰海,赫布里底群岛和北海海底沉积物中的辉石成分分析对比后提出  $Ti-(Ca+Na)$ 、 $(Ti+Cr)-Ca$  源区判别图。Morton 1985年对北海砂岩、新西兰和孟加拉扇地区海底第三系沉积物中石榴石的成分差异提出石榴石的 P, AS, GA 三端元识别图。Cawood 1991年用电子探针分析技术确定了西南太平洋内汤加岛弧火山碎屑沉积物中碎屑颗粒(斜长石、辉石、橄辉石、角闪石及不透明氧化矿物)的相化学特征,表明其来源于低钾拉斑玄武岩。尽管重矿物地球化学特征对物源分析很灵敏,但在沉积旋回中的风化、搬运、沉积及成岩作用还是将影响它对物源判别的准确性。Morton 1994年认为在搬运、沉积和成岩过程中具有相同物理和化学稳定性,相似的水动力条件下存在的重矿物特征指数最能反映物源信息,相对来说机械剥蚀在改变重矿物组合上起的作用不大,基本上可以忽略,所以化学稳定性和相同水动力条件是在寻找这些重矿物特征指数时考虑的主要因素。为此,他在对英国大陆架 Outer Main Firth 地区晚侏罗纪砂岩及三叠纪砂岩的物源分析时,提出诸如 ATi(磷灰石/电气石), RZi( $TiO_2$ 矿物/锆石), MTi(独居石/锆石), CTi(锆尖晶石/锆石)等重矿物特征指数,用来指示物源特点。人们在选择重矿物进行物源分析时,往往认为越稳定越好,认为只有这样才能保留其物源的信息,笔者认为这只是问题的一个方面,其实不稳定矿物虽然容易被风化、搬运、成岩等作用所破坏,但它在某种程度上能反映这些过程留下的痕迹,而这些信息对于整个沉积作用过程研究有很大帮助,不容忽视。

### 3 沉积物地球化学、矿物成分分析在物源分析中的应用

沉积物的化学成分与碎屑矿物构成有一定的对

应关系,在不同的构造条件下有不同的特征,其成分变化特征在一定程度上能反映沉积物物源区性质和构造背景。Bhatia 1983, 1985, 1986年; Rose 1988年等通过对砂岩的研究,提出一系列常量、微量元素地球化学端元判别图及稀土元素地球化学模式判别图,用来鉴别不同源区的构造背景,这些图件已被我国学者广泛运用于大地构造背景的判别,此处不再赘述。对于细粒碎屑岩如燧石及泥质岩, Murray 1994年提出用  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  端元图和  $(La)_N/(Ce)_N$  比值划分出近洋中脊、远洋及大陆边缘沉积。Girty 指出大陆边缘过于笼统,应进一步区分主动和被动陆缘,并提出了相应的区分图<sup>[3]</sup>。Dabard 1994年在研究 Sardinia 晚奥陶世再旋回沉积物时,利用电子探针分析其中的火山碎屑基质成分,并提出  $K_2O/Na_2O/CaO$ ,  $Fe_2O_3/(K_2O+Na_2O)/MgO$ ,  $SiO_2/(CaO \times 10)/(Mg \times 10)$  端元判别图,用来鉴别火山基质的物质来源(超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩)。电子探针、质谱技术的应用,人们开始关注单个矿物,而非全岩的化学成分分异与物源的关系,如上面谈到的重矿物成分分异。此外,虽然物源分析时强调薄片下砂岩常见组分长石、石英及岩屑的特征,但如果过分依赖这些组分的比值会导致砂岩,特别是成熟度高的砂岩物源分析的误判,为了减少这类问题的发生,砂岩中副矿物的化学特征引起了人们的重视。Grigsby 1990, 1992年曾就碎屑钛铁矿和磁铁矿在物源分析中的应用做过分析,他通过位于现代河流和海滩的全新世沉积物中的 2 941 颗颗粒磁铁矿研究发现,具有复合或格子型的磁铁矿-钛铁矿共生颗粒( $c/(c+t) > 0.5$ )来源于长英质火山岩,而具有出溶亚铁尖晶石或钛尖晶石的颗粒则来源于镁铁质侵入岩和变质的镁铁/超镁铁岩,均质(单矿物)颗粒来源于长英质侵入岩和中性火山岩,单矿物与复矿物之比为 1:1 的颗粒可能来源于镁铁质火山岩;最后,提出以均质颗粒、复合或格子型的磁铁矿-钛铁矿共生颗粒、具出溶亚铁尖晶石或钛尖晶石的颗粒为三端元的物源判别图。

### 4 单颗粒碎屑矿物的同位素测年在物源分析中的应用

单颗粒矿物的地质年代测定有望革新碎屑岩物源的研究。现在使用比较多的是磷灰石、锆石裂变径迹法,该法已有很多实例,其地区包括北维多利亚、塔斯马尼亚、巴巴多斯、英国威尔顿、墨西哥、北海等,如 Rohrman<sup>[4]</sup>通过对挪威北海三口井的磷灰石和锆石的

裂变径迹年代研究表明,晚三叠纪-侏罗纪和晚第三纪,大部分碎屑供应来自挪威基底,白垩纪则来自挪威南部的侏罗纪沉积物,早第三纪为多源区,包括北大西洋火山作用和挪威基底的少量供应物。此外,含铀微相(锆石、独居石和榍石)的 U-Pb 法及碎屑云母和角闪石的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 法也得到一定的应用。如 Gray 等<sup>[6]</sup>利用 Appalachian 前陆盆地的两个碎屑楔中砾岩的锆石 U/Pb 年龄(高精度的离子探针测试),研究了它们的物质来源,并探讨其构造演化。

总之,目前物源分析途径大致从两个方面入手,一是从沉积物的全岩成分特征,包括用计点法统计的碎屑矿物格架模型分析,这种方法得到的数据往往投在各种端元图上,如前所述的 QFM 端元图, P, AS, GA 端元图等,进行源区判别和源区构造背景再造。这种方法已得到广泛使用,效果也较好,但由于影响沉积物成分的因素,除了源岩的类型外,还有气候、地形起伏、搬运机制、层内溶解等因素,所以仅靠单一手段,有时会得出模棱两可的结论。Molinaroli 等1991年曾用判别函数分析 Dickinson 等1983年的结果,发现碎屑模型方法分析物源只有75%~85%符合事实。二是单矿物的定量分析,目标矿物的选择是多种多样的,包括石英颗粒岩石学分类、重矿物和长石成分分析、副矿物的成分分析以及锆石等矿物的裂变径迹测年。Humphreys 1991年曾对北海中央地堑上侏罗纪粉砂岩的源区研究进行了6个方面的综合评价:长石化学性质、岩石碎屑的性质和阴极发光特性、重矿物组合、粘土矿物组合、全岩和痕量元素地球化学性质及再沉积孢粉特征,发现使用不同技术,不同示踪标志得到不同的物源结论。所以如果只强调在某一范围,

某种方法对某一种物源区示踪标志的重要性,就难以得出物源区的全貌,结合不同方法总体评价物源是当今物源研究的一个趋势;还有,物源区资料的应用越来越广泛,如用于古地理重建、古气候恢复、构造演化恢复、地壳演化、走滑及抬升研究等。Critelli 1991, 1994年曾通过对巴基斯坦及印度境内的早第三纪 Murree 红层、晚第三纪 Siwalik 组沉积物的物源研究,并用来反映青藏高原的隆升等问题。

我国学者用得比较多的是采用各种端元图来判别源区大地构造背景,在物源分析上作专题研究者比较少。孟祥化1993年曾就物源分析方法作过系统介绍。在1995年召开的第四届全国沉积学及岩相古地理学学术会议上交流的228篇论文中,只有2篇是专门讨论物源分析的<sup>[1~2]</sup>。石油部门因生产需要,作过一些专题研究,而大部分学者只是将物源分析作为沉积体系、沉积相及古地理研究的辅助手段。

## 主要参考文献

- 1 李文厚.吐哈盆地的物源分析.见:王英华等编,沉积学及岩相古地理学新进展.北京:石油工业出版社,1995. 162~163
- 2 朱静昌等.鄂尔多斯地台北部晚古生代碎屑物源研究.见:王英华等编,沉积学及岩相古地理学新进展.北京:石油工业出版社,1995.196~199
- 3 Girty, G. H. et al. . *J. of Sediment. Research*, 1996, 66A: 107~118
- 4 Rohrman, M. . 海洋地质译丛,1996,4:56~68
- 5 Gray, M. B. et al. . *Tectonics*, 1997, 16(1):151~160