

广东省海岸表层沉积物矿物表面特征 与沉积环境关系的初步研究

朱素琳 梁百和 吴华新

(中山大学地质学系)

主题词: 扫描电镜; 矿物表面特征; 沉积环境; 广东

提 要: 作者选择了67个分布于不同海岸相带及近海河流环境表层碎屑沉积物中的锆石、电气石、长石、石英四种矿物, 用扫描电镜放大300至10000倍观察分析其表面结构特征。观察分析发现, 不同环境下的矿物表面结构特征有一定区别。这些区别主要由不同环境因素造成。河流环境的矿物表面结构简单, 由物理作用造成; 海岸环境的不同相带, 矿物表面结构特征比较复杂, 但程度有所不同。其特征主要取决于物理作用和所迭加的化学溶蚀作用。热带、亚热带海水对矿物的化学溶蚀和改造十分重要。

广东省海岸地处亚热带, 岸线曲折, 港湾众多。岸外大小岛屿星罗棋布。20余条大小河

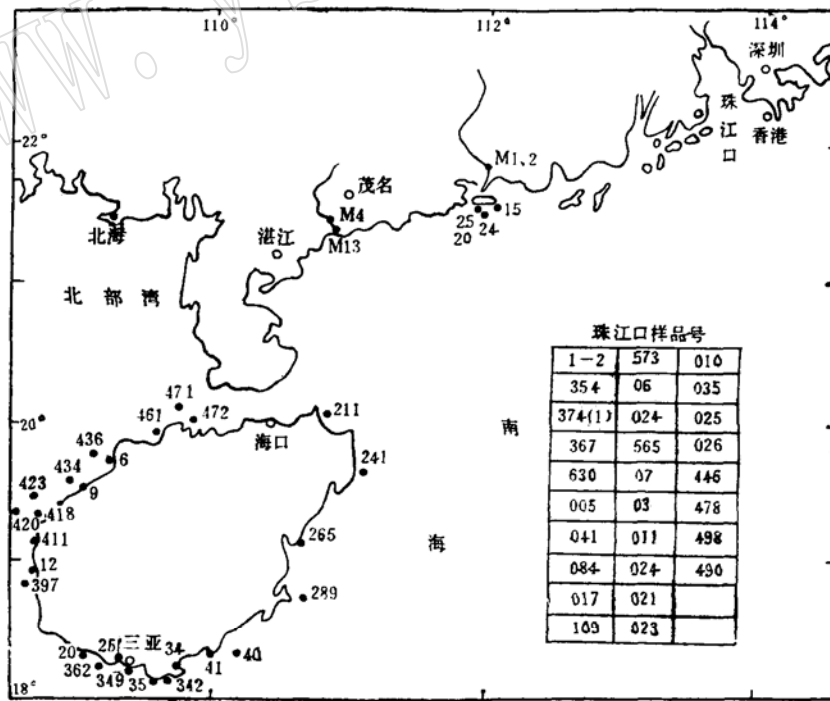


图1 广东省海岸沉积物扫描电镜分析样品分布图

Fig. 1 The locations of the samples for scanning electron microscopic analysis on the coast of Guangdong

流注入南海。这一沉积地貌背景造成该省沿岸海域能量作用复杂,水体物理化学条件多变,对碎屑矿物改造具有明显的地区性特点。作者已经就本省沿岸重矿物的种类、形态、含量分布及矿物组合等宏观特征与沉积环境关系作了初步探讨^[1],并解剖了珠江口地区沉积物的矿物表面特征与沉积环境的关系^[2]。在此基础上,作者从已作重矿物鉴定的400余个样品中选出67个重砂样,将其中的锆石、电气石、石英、长石等四种碎屑矿物,在扫描电镜下放大300—10000倍观察分析,获得照片250余张(图1)。观察分析表明,不同沉积环境的碎屑矿物形态和表面特征有明显差异。考虑到广东省海岸与入海河流关系密切,部分碎屑矿物通过河流带入海岸水体沉积,作者特地选择河流边滩和心滩的碎屑矿物与海岸碎屑矿物的形态和表面特征对比,以探求不同沉积体系的介质性质及能量条件对这些特征的控制。

一、不同沉积环境的矿物表面特征

1. 河流环境

锆石:多保留晶体形态轮廓,但颗粒稜、角均被磨损,呈次棱角—次滚圆状,晶面常见机械撞击坑或碟形坑(照片1,鉴江河流边滩,M4,见图1)。

电气石:明显被机械磨圆,常见不规则撞击坑。

石英:不规则颗粒外形,机械破碎现象明显,晶面撞击坑发育,常显贝壳状断口,断口间稜角明显(照片2,鉴江河流边滩,M4,见图1)。

长石:常见片状剥离、剥落,不规则溶蚀丝纹及小坑。

上述情况说明,河流环境碎屑矿物的微观形态和表面结构特征比较简单,主要是搬运过程中的机械磨圆或再破碎。常见为磨损程度不同的颗粒,表面散布机械撞击坑。只有长石可见片状剥离及不规则溶蚀丝纹。

2. 海岸环境

鉴于海岸环境微相比较复杂,作者在归纳不同沉积环境碎屑矿物的表面特征时,不拘泥于典型海滩剖面或潮坪相带划分单元,而着重考虑该环境下介质性质、运动方式和能量条件等因素对表面特征的控制和影响。

(1) 长期暴露的环境:主要指不同成因的砂堤或砂丘,长期暴露于大气中。以粤西海岸的赛夫砂丘(Seif dunes)为最典型。

锆石:粤西海岸赛夫砂丘颗粒极其浑圆,机械撞击坑较大,坑内常有极细小的溶坑。其它海岸砂堤多保留原来晶形,稍有磨损,晶面常有浅而光滑的撞击坑,偶见漏斗状溶坑(照片3,三灶岛海岸砂堤,08)。

电气石:粤西海岸赛夫砂丘颗粒极为浑圆,晶面有小而浅的机械撞击坑(照片4,阳江县海岸赛夫砂丘,24,见图1),海南岛沿岸砂堤颗粒保留原始晶形轮廓,但锥、稜均被磨圆,并有机撞击坑;珠江口外西侧海岛沿岸砂堤,颗粒表面则以溶蚀现象常见,沿解理及锥面溶蚀成各种丝纹^[3]。

石英:粤西海岸赛夫砂丘颗粒多呈不规则状,边缘参差状,形态多样。如花瓣状,凹坑状,并布满微孔;海南岛沿岸砂堤颗粒圆度极高,表面布满点状小坑(照片5,海南岛东方县海岸风成砂堤,12,见图1),珠江口外西侧海岛沿岸砂堤颗粒有风化剥落表面及“V”形

痕,并伴有沉淀物。

长石:粤西海岸赛夫砂丘颗粒多呈不规则状,在机械磨圆的基础上溶蚀成各种不规则丝纹及小坑;海南岛沿岸砂堤颗粒为磨圆的板状晶形,晶面有较光滑的机械撞击坑,并有波状凸起及微细溶坑;珠江口外海岛沿岸砂堤颗粒以平行解理纹的阶梯状断口、机械撞击的贝壳断口为主要特征,并有碟形坑、带盖小坑等。

以上事实说明,海岸暴露环境碎屑矿物的形貌和表面结构特征比河流环境略为复杂。主要是大气营力作用使多数矿物具有极好的圆度,少数为温差改变形成的剥落及微弱而缓慢的化学作用形成的溶蚀丝纹、细小及漏斗状溶坑。而各种形态的细微溶蚀坑多系在机械撞击坑的基础上发育。

(2) 暴露为主的环境:主要指潮上带部位。

锆石:圆柱状颗粒,具有极其圆滑的外缘,偶尔保留原来晶形轮廓,并发育碟形坑(照片6,海南岛儋县海岸潮上带,9,见图1)。

电气石:具有极其圆滑的颗粒外缘,柱面发育撞击坑、碟形坑、机械擦痕及溶蚀纵纹、溶坑等。

石英:颗粒不规则,常见碟形坑及化学溶蚀解理纹、网状纹、溶蚀小坑、蜂窝状丝纹。溶坑内常有自生石英晶体、裂纹等(照片7,三灶岛海岸潮上带,011,见图1)。

长石:颗粒表面密集分布不规则小溶坑,呈麻点状(照片8,海南岛儋县海岸潮上带,9,见图1),贝壳断口、与解理或双晶纹平行的溶沟、沟、坑内粘附有残留物。

综合上述,暴露为主海岸环境碎屑矿物的形貌和表面结构特征各岸段相似,但比较复杂。锆石和电气石外形极其浑圆,而长石和石英则为不规则颗粒。各种矿物化学溶蚀蚀象相当普遍。石英、长石溶坑内尚有 SiO_2 沉淀物及残留物。

(3) 周期暴露的环境:主要是指潮间带部位。

锆石:颗粒圆度高,有碟形坑,柱面撞击坑。坑内具溶蚀纹及残留物,并有生物附着(照片9,海南岛三亚海岸潮间带,20,见图1)。沿柱面和稜溶蚀的“V”形槽,且槽内有自生晶体及破碎物。

电气石:短柱状及极其圆滑的圆柱体,柱面和锥面有较大的长形撞击坑及溶蚀坑,沿三方锥面的溶蚀纹,阶梯状及平行柱面的溶蚀槽。

石英:极其圆滑的浑圆颗粒,具裂纹、 SiO_2 沉淀、定向沟槽、翻卷薄片等。上述现象以珠江口外西侧海岛海岸潮间带的颗粒最为普遍;而粤西和海南岛沿岸潮间带的颗粒则以具蚝壳状的溶蚀外表并布满溶蚀坑、蜂窝状微孔为特征。在溶蚀坑内见片状残留物。

长石:颗粒保留柱状、板状轮廓,表面密布皱纹,沿解理缝有细小溶蚀纹、溶蚀丝纹、裂纹、扭曲沟纹及聚片双晶纹。

以上说明,周期性暴露海岸环境碎屑矿物的形貌及表面结构特征比以暴露为主海岸环境更为复杂,并在高倍放大情况下始能察见。除长石外,其它矿物均具极其圆滑的外形,机械撞击和化学溶蚀蚀象都很发育。前者如碟形坑、“V”形槽、长形撞击坑、定向沟槽、裂纹等;后者如翻卷薄片、扭曲沟纹、溶蚀坑、纹、槽及极为复杂的蚝壳状、蜂窝状蚀象,并有沉淀物和残留物充填其内。后者往往在前者基础上发育。

(4) 水下环境:主要指潮下带以及较深部位。

锆石：颗粒被磨圆，柱面常见碟形坑。溶沟及扭曲溶蚀纹，晶稜部位机械撞击坑、槽尤为发育。

电气石：极圆颗粒，机械撞击坑内有残留物粘附，弯曲溶蚀沟纹发育（照片10，珠江口磨刀门-5米水深，084，见图1）。

石英：不规则颗粒，具机械破碎外表，贝壳断口和撞击坑，深而大的溶蚀孔洞和密集分布的弯曲溶蚀沟纹（照片11，海南岛海口海岸-5米水深，211，见图1）。上述特征在海南岛沿岸较为常见；而珠江口沿岸则以极其浑圆颗粒，不规则溶蚀坑、深裂缝， SiO_2 沉淀，平行排列的溶沟，弯曲状溶蚀纹等蚀象为特征。

长石：以极其发育的似浮岩状、蜂窝状溶蚀洞（照片12，海南岛海口海岸-5米水深，211，见图1）。不规则溶蚀丝纹及溶蚀洞，漏斗状及阶梯状溶坑，不规则裂纹等化学蚀象为主。

综上所述，长期淹没在水下环境的碎屑矿物形貌及表面结构特征以规模大、形象复杂的化学蚀象为主，尤以石英、长石为最明显。如长石的似浮岩蜂窝状蚀洞和石英极为复杂的化学蚀象。锆石、电气石及个别岸段的石英，机械蚀象亦较常见。

二、沉积环境与矿物表面结构特征关系的分析

以上观察分析表明，不同环境的各种碎屑矿物有不同形貌和表面结构特征。同一环境不同岸段分布的各种碎屑矿物形貌和表面结构亦有一定差异，主要受沉积环境因素控制。这些环境因素主要是物理作用（包括搬运、簸选、撞击、刻印、温差改变、风吹扬……），化学作用（包括溶解、溶蚀、沉淀、结晶……）以及这两种作用的迭加。生物作用影响虽少，但仍有一定指相意义⁽³⁾。

河流环境因素对矿物表面结构特征的影响主要是物理作用。分析样品的沉积部位地处河流中、下游。微地貌是以单向水流作用为主的辫状河心滩和曲流河边滩。水介质簸选作用不明显，碎屑矿物蚀象和表面结构主要是搬运过程中撞击作用所形成的不规则撞击坑、碟形坑和反映矿物本身晶体结构特征的贝壳状断口（如石英等）。机械圆化作用对不同种类矿物有不同效应。重矿物锆石、电气石颗粒细小磨圆较好，理应为搬运过程中磨蚀作用所造成；再破碎现象较少见到。而轻矿物石英、长石则有所不同。石英、长石的不规则外形可能与搬运过程中的再破碎有关。长石层状剥落似为河滩沉积物暴露于大气中，由温差改变所造成。至于化学溶蚀作用，河流淡水介质溶蚀能力很弱。锆石、电气石和石英难以发现溶蚀现象，仅长石在机械撞击坑内迭加了不规则的溶蚀丝纹。

海岸环境因素与河流迥然不同。这里造成碎屑矿物复杂形貌和表面结构的主要影响因素是物理、化学及两者兼有的迭加作用。加之广东沿岸所处热带、亚热带的气候条件和风、咸、淡水体多种介质的不同作用，使物理、化学及两者迭加对矿物的改造作用更加深刻。长期暴露于大气环境中的砂堤及砂丘，以物理作用为主，与河流环境相似。但因为作用于矿物的介质性质不同。风暴潮时海水漫过砂堤（丘）可短期在该处停留，其矿物蚀象比河流较为复杂。粤西海岸的赛夫砂丘由长期暴露于大气的风成砂组成，锆石和电气石具有极其浑圆的外部形态及大小不等的机械撞击坑，坑内迭加细小溶坑。且石英和长石则是在不规则颗粒形态的基础上磨圆，由于温差改变造成片状剥离和迭加溶蚀丝纹。其中，石英还具有形态多样

的参差状、花瓣状、凹坑状且布满微孔边缘；长石则以溶蚀成各种不规则丝纹和小坑为特点。分布于海南岛及珠江口外西侧海岛海积或风成砂堤的几种矿物都有较好的磨圆度，并发育机械撞击坑、漏斗状溶坑^[4]。暴露于大气为主的潮上带有比砂堤更为多样的物理作用及化学溶蚀作用对物理作用的迭加，使这里矿物形貌比之砂堤更为复杂。对暴露于大气的条件而言，风改造的物理作用两者相似。锆石、电气石的磨圆，各种撞击坑、片状剥离等均与这一作用有关。但海水作用常达这一部位，增加了物理作用因素。化学溶蚀及机械、化学两种作用迭加的蚀象也相对增多。例如，高潮潮水潮汐动力迭加造成电气石的机械擦痕，石英的裂纹，几种矿物表面都很发育的碟形坑等。与此同时，海水介质溶蚀作用增强，使形貌各异的石英出现溶蚀解理纹、网状纹、蜂窝状丝纹及溶蚀小坑。坑内尚有自生石英晶体分布。长石密集分布的麻点状溶蚀小坑，沿解理及双晶纹的平行溶沟及沟内粘附的残留物等，这都是潮上带的常见蚀象。在周期暴露的潮间带，环境因素对碎屑矿物的作用和改造最为活跃。周期性暴露的大气温差变化及干缩作用，潮汐和波浪的搬运和簸选，海水的化学溶蚀，以及这些作用的迭加，造成矿物表面蚀象更为复杂多样。反复搬运和簸选作用使这里的锆石、电气石、石英均有极好磨圆。并在浑圆表面迭加了机械撞击坑、碟形坑、翻卷薄片、定向沟槽等蚀象，尤以石英为最复杂。其蚀象规模较大，形象也较深刻明显。如果加大倍数观察，便会看到机械撞击坑上的化学溶蚀蚀象，温差改变和干缩作用迭加的蜂窝状、蚝壳状蚀象，并有 SiO_2 沉淀物及溶蚀残留物。这一环境里的长石与其它矿物形貌和表面结构特征有较大区别。它保留有板状、柱状颗粒轮廓，明显区别于圆化程度高的另外三种矿物。这是因为波浪和潮汐的簸选不仅可使长石不断圆化，同时也使柱状解理发育的长石在较强的波浪、潮汐作用下沿解理撞击破碎、裂开成稜脊状断口。而化学溶解和机械磨蚀圆化又可使稜角变钝。这种破碎和圆化作用的相互消长，可使长石在有利于矿物圆化的潮间带变成不规则状颗粒。这一现象以波浪作用较强的海南岛沿岸潮间带较为常见。在不规则颗粒表面，常沿解理缝溶蚀出各种皱纹状溶蚀纹、丝纹和小坑。水流作用和溶蚀作用的迭加可造成长石的扭曲沟纹蚀象。在潮下带，包括与之邻近的浅海近岸水深百余米处，碎屑矿物长期受亚热带海水介质溶蚀，并时有底流和海流的机械作用。主要呈现化学溶解和溶蚀作用的复杂蚀象和表面结构。机械撞击蚀象不占重要地位。锆石、电气石为极圆颗粒，微结构以扭曲沟、纹为最常见，显示矿物颗粒在长期化学溶蚀过程中，同时受到不定向水流的搬运位移。而石英和长石亦受到更为深刻的改造。除一般的撞击坑外，石英的溶蚀孔洞、溶沟、深裂缝、弯曲溶蚀纹、 SiO_2 沉淀等和长石的似浮岩蜂窝状溶蚀洞、漏斗状及阶梯状溶坑都是反映水下长期化学溶蚀作用的表面结构。

总之，碎屑矿物的形貌和表面结构特征与沉积环境有密切关系。如表1所列，河流环境以物理作用为主，矿物形貌和表面结构较为简单。海岸环境的矿物形貌和表面结构则较复杂，其原因在于环境因素多样，物理和化学因素先后或同时作用于碎屑矿物。在海洋环境中，以周期暴露于大气的潮间带和长期淹没在水下的潮下带以及较深部位碎屑矿物表面结构特征最为复杂，尤以化学溶蚀现象常见。长期暴露于大气环境的潮上带和砂堤，其碎屑矿物表面特征介于典型的大陆河流环境与零米水深以下（即潮间带以下）的海洋环境之间。而海岸各相带不同碎屑矿物的表面结构特征都是不同环境因素的反映。

表 1 碎屑矿物表面结构特征与沉积环境的关系

Table 1 Relationship between the surface texture of the clastic mineral grains and the Sedimentary environment

沉积环境	环境特征	相应的 环境	介质性质	作用性质	主要表面结构特征
河流环境	水下及暴露于大气	边滩 心滩	淡水	物理作用	颗粒不规则, 机械撞击坑, 机械破碎剥落。
海岸环境	长期暴露于大气	砂堤 砂丘	风	物理作用为主	颗粒浑圆, 机械撞击坑, 布满微孔的花瓣状、凹坑状边缘及剥落, 漏斗状溶坑。
	暴露于大气为主	潮上带 (后滨)	风 海水	物理作用为主, 化学作用	颗粒浑圆, 机械撞击坑, 碟形坑、溶坑, 裂纹, 自生晶体。
	周期暴露于大气	潮间带 (前滨)	海水 风	化学和物理作用及两者迭加	极其浑圆颗粒, 撞击坑, 蚝壳状、蜂窝状微孔, 翻卷薄片, 定向沟槽, 扭曲沟纹, "V"形槽。
	长期淹没水下	潮下带 (近滨) 浅海近岸	海水	化学作用为主, 兼有物理作用及两者迭加	平行排列的溶沟, 弯曲溶蚀纹, 似浮岩蜂窝状溶蚀洞, 不规则溶蚀丝纹, 阶梯状溶坑, SiO_2 沉淀。

三、结 语

广东省海岸表层沉积物几种碎屑矿物表面结构的扫描电镜分析可以为沉积环境分析提供现代微观标志。这些成因标志随着资料不断充实使之解释环境更为有效。用常规鉴定方法去研究和描述矿物往往未能深入揭示矿物形态特征所能反映的成因意义。利用扫描电镜技术可使这一研究不断深入, 并对碎屑矿物在搬运和沉积过程中出现的某些蚀象和表面结构形成机理提供更为合理的解释。例如, 机械搬运和簸选通常可使矿物变圆。但是, 有些碎屑矿物当对颗粒的机械撞击比圆化效应更为明显时(如石英、长石)、在搬运和簸选过程中可进一步破碎, 微棱角极为发育。加之不规则片状溶蚀使其外缘变成参差状。这在扫描电镜下显露得特别清楚。双目镜下鉴定为圆度很高的颗粒, 在扫描电镜下则可能是另外一种形貌。海水化学溶蚀对碎屑矿物的改造比之相应介质下的机械改造所呈现的微结构更为明显、复杂。因此, 应用扫描电镜方法研究碎屑矿物表面的超微结构特征, 对沉积环境分析具有重要意义。

本文所作的扫描电镜分析得到中国地质科学院地质研究所扫描电镜室黄成彦同志协助。本文经宋天锐研究员审阅并提出宝贵意见, 在此深表谢意!

参 考 文 献

- 〔1〕 梁百和等, 1989, 广东省海岸表层沉积物的重矿物特征及其与沉积环境的关系。岩石矿物学杂志, 第8卷, 第2期, 第180—187页。
- 〔2〕 朱素琳等, 1986, 珠江口沉积物的矿物表面特征与沉积环境的关系。热带地理, 第6卷, 第3期, 第242—246页。
- 〔3〕 陈丽华等, 1986, 扫描电镜在地质上的应用。科学出版社, 第21—37页。
- 〔4〕 朱素琳等, 1985, 珠江口外西侧海岛表层砂质沉积物中重矿物的初步研究。地质地球化学, 第5期, 第68—71页。

图版说明

- 照片 1. 锆石, 机械撞击坑。×450
照片 2. 石英, 不规则断口。×500
照片 3. 锆石, 漏斗状溶坑。×2500
照片 4. 电气石, 磨圆极好及小而浅的机械撞击坑。×550
照片 5. 石英, 磨圆极好, 表面布满点状小坑。×500
照片 6. 锆石, 磨圆极好及碟形坑。×400
照片 7. 石英, 深而大的不规则机械-溶蚀坑, 有自生晶体分布坑内。×5000
照片 8. 长石, 密集分布的麻点状溶坑。×1400
照片 9. 锆石, 撞击溶蚀坑内的残留物及生物附着。×2000
照片 10. 电气石, 沿解理发育阶梯状溶蚀纹。×700
照片 11. 石英, 弯曲溶蚀沟纹及溶蚀洞。×1500
照片 12. 长石, 似浮岩蜂窝状溶蚀洞。×500

**A Preliminary Study of the Relationship between the Surface
Characters of Clastic Minerals from the Surficial Sediments and
the Sedimentary Environment on the Coast of Guangdong**

Zhu Sulin Liang Baihe Wu Huaxin

(Department of Geology, Zhongshan University)

Key words: scanning electron microscope; surface characters of minerals;
sedimentary environment; Guangdong

Abstract

The authors selected zircon, tourmaline, quartz and feldspar from 67 samples of different facies on the coast of Guangdong for ultrastructural observation with a magnification from 300 to 10,000 under an electron scanning microscope. It has been found that the mineral grains vary ultra-morphologically from place to place, suggesting the influence of different environmental factors. The grains from rivers mostly show simple but irregular collision pits, some being disc-shaped or desquamated, which probably resulted from physical erosion. The exposed areas have yielded rounded grains covered with mini-pores, fissures and funnel-shaped corrosion pits, suggesting a physical erosion together occasionally with chemical corrosion. The morphology of the rounded grains from some periodically exposed facies zones, e.g. intertidal zone, is varied, assuming shell- or honeycomb-shaped

(下转第130页)

www.yskw.ac.cn

(上接第165页)

mini-pits, small directional striae, curved fissures, V-shaped corroded pits and some SiO_2 precipitates, which are considered to have been formed by physical erosion in combination with chemical corrosion. An equally complicated texture was also found at the surface of the mineral grains from the underwater zones. It is characterized by honeycomb, corroded pits, irregular or parallel fissures, curved steplike and funnel-shaped corroded pits as well as SiO_2 precipitates. This texture is probably a product of chemical corrosion associated with a joint physicochemical corrosion. All these characters seem to indicate the origins of different facies zones in this particular coastal area.

