

石英砂表面结构模式图集

王 颖 著
[加] B. 迪纳瑞尔

科学出版社

1985

内 容 简 介

本图集是作者在加拿大贝德福德海洋研究所大西洋地质中心工作,根据她的研究工作计划、成果而进行总结写成的,与克润斯里和杜尔开普所著的第一本《石英砂表面结构图集》相比,不但具有理论综述部分,而且所分析的样品、所代表的环境及照片均多于该书。因此,也可说是该书的继续和补充。

全书共分文字和图片两大部分。前者,主要介绍石英砂表面结构的研究历史,样品的处理,主要观察项目与方法,以及在七种主要沉积环境下,石英砂表面结构的组合特征;后者是精选的365张电镜扫描显微照片,表明在七种不同沉积环境与不同气候带下的模式石英砂表面结构。

本图集可供地质勘探、石油、港口、海洋等方面的科技工作者以及大专院校的地球科学有关专业的师生参考。

石英砂表面结构模式图集

王 颖 著
〔加〕B. 迪纳瑞尔

责任编辑 朱昇堂

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年12月第一版 开本:787×1092 1/16

1985年12月第一次印刷 印张:4 1/4

印数:精 1—1,000 插页:精 38 平 36

平 1—550 字数:95,000

统一书号:13031·3029

本社书号:4352·13—13

定价:布脊精装 4.95 元
平 装 3.95 元

序 言

本书受克润斯里 (D. H. Krinsley) 与杜尔开普 (J. G. Doornkamp) 所著《石英砂表面结构图集》一书的启发并拟成为该著作的继续与补充。本书的样品或采自中国,或采自加拿大等地,代表着不同的成因环境与气候条件,因此,较前人的图集展示了更为广泛的沉积环境。所选的照片不仅仅代表单一的类型而是展示出其全部的特征表面结构。

在研究现代沉积时,石英砂表面结构分析是一个很有用的工具,有助于判断沉积物的来源、搬运过程和早期成岩历史。但是,必须与微体古生物、矿物鉴定以及沉积层结构的分析工作结合起来,才能全面地了解沉积物的成因。本书期望能有助于中国和加拿大同事们的沉积学研究工作。同时,我们希望它对大专院校的有关学生和从事此方面工作的有关专业人员都具有广泛的应用价值。

感 谢

我们衷心地感谢大西洋地质中心的 G. 维克斯博士, D. J. W. 派帕博士, D. E. 贝克礼博士, C. F. M. 刘易斯博士及 K. 罗伯逊先生, 南京大学朱大奎副教授及北京大学王乃樑教授对我们的鼓励和对本书的大力支持。没有他们的支持,本项工作难以完成。我们亦诚挚地感谢下列友人的支持与技术上的建议: 南京大学王富葆副教授, 兰州大学牟昫智副教授, 中山大学李春初先生, 特立尼达德士古公司的 R. D. 利斯卡先生, 贝德福德海洋研究所的 K. 克兰克博士与 F. 托马斯先生, 加拿大地质测量部的 D. 沃克先生及特立尼达的 C. 迪纳瑞尔先生。此外, B. 迪纳瑞尔愿借此对他的妻子帕瑞梅对这项工作的理解与耐心支持在此深表感谢。

我们愿将本书献给所有中、加海洋地质学家作为友谊与合作的纪念。

目 录

序言	(i)
感谢	(i)
一、导言	(1)
二、样品的选择与处理	(2)
三、石英砂表面结构的观测	(2)
四、不同环境的石英砂表面结构	(4)
岩屑或残积物	(4)
冰川砂	(5)
风成砂	(5)
河流砂	(6)
滨岸或海滩砂	(7)
大陆架砂	(7)
大陆边缘与深海砂	(8)
五、结论	(8)
参考文献	(10)
显微照片说明	(12)

一、导 言

坚硬的石英砂表面像录相带般地打上了作用于它的动力过程烙印。它不仅具有高处侵蚀、低处沉淀的基本特征,而且,不同的动力过程形成特殊的形态标志,这些标志的组合特征与相互关系可以反映出颗粒所经历的不同环境。因此,石英砂表面标志不仅仅反映着最后一次事件,而且也包含着一系列沉积历史过程 (Vilks 和 Wang, 1981)。

自从扫描电镜出现成为研究工具以来,就开始观察石英砂表面微标记期以作为沉积环境的指示标记。例如,柏德曼 (Biederman, 1962) 曾用扫描电镜来区别来自不同外滨环境的沉积物;奎年 (Kuenen, 1960, 1962) 进行过石英砂的磨蚀实验以建立在砂粒表面上的机械作用效应。杜尔开普和克润斯里 (Doornkamp 和 Kriensley, 1971), 发表了一系列文章来论述风成的和各种水下环境的石英砂表面结构。

克润斯里与杜尔开普的图集 (1973) 是应用石英砂表面结构研究沉积动力的重要贡献。该图集展示了广泛环境的石英砂,包括冰川的、风成的及水下环境等等,并且讨论了石英砂表面的成岩效应。然而,该图集还缺少一些环境的实例,例如,深海浊流沉积、河流沉积和经长距离搬运的风成沉积等,同时,克润斯里与杜尔开普的图集还缺乏根据表面结构分析来阐明沉积历史的例证。这些例子将在我们这本新图集中予以讨论。

本书所记述与解译的石英砂表面标志包括下述七种沉积类型:

- (1) 残积, 采自加拿大的花岗岩风化壳。
- (2) 冰积, 包括底积、表积与冰水沉积的砂粒。样品选自阿拉斯加东南部, 中国喜马拉雅山、天山等高山冰川以及加拿大东部大陆冰流的冰积物。
- (3) 风积, 沙漠砂及风成黄土, 选自中国及北非。
- (4) 冲积, 样品包括一些大河的砂样, 如中国长江、黄河、珠江及加拿大的马更些河等, 还有一些海岛小河的砂样。
- (5) 海滩砂, 样品选自中国、加拿大、美国、毛里塔尼亚及西印度群岛等海岸, 代表着不同的气候带, 不同的物质来源与营力特点以及不同能量环境(高能或低能海岸带)的海滩砂特征。
- (6) 大陆架砂, 样品选自加拿大和中国, 代表着不同纬度地带性的大陆架环境。
- (7) 深海砂, 选自大西洋、北冰洋及中国东海。样品包括大陆坡、深海扇、深海平原及洋中脊的沉积物。

为了比较,一些样品选自相同的沉积环境但为不同的气候带。例如,马更些河的砂样代表极地与亚极地气候环境的河流堆积;黄河与长江砂样代表温带气候;而珠江主要源流西江的砂样代表热带或亚热带的气候环境。大部分样品是采自现代沉积,少数样品选自更新世或晚第三纪。所有一百个样品是用 Cambridge 180 型扫描电子显微镜进行研究的。本图集包括 365 张模式照片,是在我们进行研究与准备本书的过程中从 1300 张显微照片中挑选出来的。

二、样品的选择与处理

为了确定不同搬运营力的砂粒表面结构特征,选定样品是很重要的。在这本图集中所选取的样品是已知搬运营力与沉积环境的标准砂样。样品采集后需进行筛分以选取粒级。克润斯里等人的意见以粗砂级($-0.5-1\phi$)观察表面结构最好。我们的经验是以细砂或中细砂(2ϕ)粒级的颗粒最好。但是,也要考虑到不同的沉积类型,例如,残积与冰碛物以粗砂级为主,黄土主要是粉砂级。其它类型的沉积物虽然是粗、中、细砂皆有,但以 2ϕ 粒级的细砂或中细砂的颗粒上具有最清楚的反映营力特点的表面标志。因为这个粒级的砂已经历过相当距离的搬运,具有了该营力的机械作用痕迹,是发育成熟的颗粒。因此,我们认为:进行表面结构分析的石英砂以 2ϕ 粒级的最为适宜。粗砂颗粒多保持自基岩分解时的形态,而粉砂颗粒的沉积物多被次生硅沉淀所包裹,原始面目已难观察。

砂样经筛分选出所需之粒级,用双目镜选取石英砂并经电子探针鉴定。为了去掉有机质及氧化铁物质,各样品皆经过下列程序处理(参照 Krinsley 和 Doornkamp, 1973):置于浓盐酸中煮沸 10 分钟,用蒸馏水充分清洗后再在氯化亚锡的溶液中煮沸 20 分钟,经蒸馏水冲洗数次后,再将样品放在 30% 的过氧化氢中煮沸 10 分钟,最后再用蒸馏水清洗干净,等样品干燥后再使用。处理样品的过程中要仔细观察,注意保持样品的清洁而不使玷污。经过上述处理后,每个样品任意取出 15—20 颗石英砂(Krinsley 和 McCoy, 1977)。所取颗粒必须能够概括反映该样品的全部颗粒形态特点,不能有意识地只选某一种形态的颗粒。选取的砂粒用双面胶纸固定在持样的金属托上,放置砂粒时要有一定的间隔与行距,使每颗砂都能得到充分地观测。按行序排列的样品,其首行应有固定的标志,样品与砂粒皆需编号,供重复观察或检查。在汇集数个样托后,放入镀膜机中均匀地镀以层厚为 200 Å 的金钽合金,然后,样品就可以放入扫描电镜进行观察与摄影。

三、石英砂表面结构的观测

石英砂表面结构观察是一项细致的比较分析工作,据我们的经验,需观察下列五项:

(1) 砂粒的形态,如立方形、长形、圆形、三角形或流线形等等。还要观察分析该形态是原生的晶体形态还是次生的破裂形态,或者是经过某种营力搬运所造成的形态。颗粒形态在区别营力环境时是重要的。

(2) 粒级的磨圆程度,参照鲍威尔的分类(Powers, 1953),我们采用七个圆度等级:尖棱;尖棱→次棱;次棱;次棱→次圆;次圆;次圆→圆;圆。柱脊的磨圆程度是一个重要的辅助判断标志。一般而论,沙丘砂、海滩砂及河流砂的磨圆度要高于冰川砂或其它营力环境的砂。在相同的动力作用条件下,颗粒的圆度反映着搬运距离与砂粒的发育程度。

(3) 特征标志,是指反映特定沉积环境的标志,它们是主要的判断标志。如,贝状断口、平行阶、碟形坑、上翘面、擦痕、机械撞击形成的 V 坑、V 痕、圆麻点、弯曲沟和刮痕线等,这些是反映搬运动力的主要标志。要观察是否存在着这类标志,需测定其形态尺度与密集程度。根据这些资料可以判断搬运的性质及作用力强度。例如,来自邻近冰碛海崖的海滩砂,虽未经过长距离搬运,颗粒的形态不规则,磨圆程度低,但是由于是海滩砂,经

表 1 石英砂表面结构观测成果表

石英砂表面结构	样号				备注
	总颗数				
颗粒形态					
不规则					
晶形控制					
光滑颗粒					
其它					
粒脊磨圆程度					
尖棱					
尖棱→次棱					
次棱					
次棱→次圆					
次圆					
次圆→圆					
圆					
表面标志					
贝状断口					
平行阶					
擦痕					
碟形坑					
上翘面					
机械撞击的V坑					
V痕(机械撞击成的)					
撞击点					
弯曲沟					
刮痕线					
裂隙					
表面溶蚀形态					
溶蚀孔					
次生硅沉积					
硅质包裹					
风化形态					

历过波浪的冲击与搬运作用,砂粒表面已形成明显的 V 痕(见照片中 255)。

(4) 成岩过程标志,表明沉积物堆积后所经历的变化与环境。例如,颗粒表面的各种溶蚀形态,次生硅沉淀的堆积形态或对颗粒的包裹状况以及其它风化形态等。这些标志可以判断堆积的时间长短及次生环境特点。

(5) 各标志间的交接关系或叠置顺序,石英砂表面并非仅表示出单一的环境特征,它记录着所经历的沉积过程,因此,根据这些标志的顺序,那些是老的残迹,那些是后来叠加的,这样,就可以解译各标志所代表的各阶段动力特点以分析其沉积历史。

需要补充说明,样品应建立科学的储存制度与文字记录。每个样品应按统一原则编号,详细记录采样地点,沉积部位,现代沉积环境,所选用的粒级,样托表面的素描以表示颗粒排列顺序。每一样品内各颗砂按序号进行上述五项内容的观测与记述,并注明放大倍数与显微照片的号码。每颗砂应拍一张全粒图像,以反映形态全貌,再根据砂粒的特点拍摄出局部的放大照片。然后,将全样观测结果按项填入统计表格内(表 1),根据这些资料再结合沉积层结构的特点,就可以写出石英砂表面结构分析总结。

四、不同环境的石英砂表面结构

根据沉积过程或环境的差异,本书是按以下七类来分别展示不同的石英砂表面结构:

- (1) 岩屑或残积物;
- (2) 冰川砂;
- (3) 风砂和黄土;
- (4) 河流砂;
- (5) 滨岸或海滩砂;
- (6) 大陆架砂;
- (7) 大陆边缘与深海砂。

对于每一种沉积环境,都总结了一定数量石英砂的鉴定成果,并选出显微照片来展示该环境的特征形态。本书中所采用的形态标志术语是根据已有文献的术语及我们研究报告所采用的名词之综合。模式照片是从该环境砂样的实际观测中所拍摄与挑选出来的。可以说本书是我们系统研究工作的总结,而不是依赖于文献评述或收集他人所摄照片的成果。

岩屑或残积物

这类砂质沉积物来源于基岩的风化分解,基本上是停积于原地而未经过任何距离的搬运。自然界的砂,大部分起源于花岗岩、片麻岩或老砂岩的风化岩屑。我们的样品选自花岗岩与片麻岩的风化产物,因为它可以反映出砂粒未经搬运过的初始形态。来源于老砂岩风化产生的砂,即使没经过再搬运,也承袭了老砂岩形成时的沉积环境特性。

典型的岩屑或残积砂,棱角尖锐而形态极不规则,具有丰富的贝状断口及一些碟形凹面,其特征标志是粒脊上参差不齐具有耳状突起翼或称“岩耳”,这些形态皆是岩石经风化

破碎所造成的。与冰碛砂的区别在于：(1) 比冰碛砂更尖锐，几乎是每个破裂面上皆存在着贝状断口，残留砂的贝状断口较冰碛物丰富得多；(2) 颗粒上具有耳状的破裂残留体或者说耳状之翼。这部分极为脆弱，稍经搬运即会磨蚀掉，是机械风化的岩屑所特有的形态，而不存在于冰碛砂上。

冰 川 砂

对于采自不同冰川的石英砂表面结构我们一一都作了鉴定。从鉴定的结果看，阿拉斯加的冰川砂展示出下列特征：(1) 尖棱-次棱的粒脊，较残积砂略为磨圆；(2) 块状或不规则形态的颗粒，主要是石英晶体形态——柱状体或双锥体所造成的；(3) 普遍具有贝状断口，还有平行阶、擦痕和其它刻蚀形态。

采自中国喜马拉雅山和天山的高山冰川砂展示出相类似的表面结构，但又别具特色。(1) 具有明显的晶体控制形态，大部分石英砂是在强烈的寒冻风化条件下从基岩中崩解出来的。(2) 底碛中的石英砂的圆度略高，多半为次棱级或者尖棱→次棱级；颗粒表面具有平行的槽形坑，似在冰川活动过程中经过挖掘刻蚀所成；所有颗粒已经过次生变化，具溶蚀孔与次生硅沉积。(3) 表碛砂较底碛砂磨圆程度低，主要为尖棱级，具有较多的晶体控制形态或新鲜的破裂形态，但是，风化形成的孔洞较普遍。北美的石英砂颗粒表面干净新鲜，次生溶蚀形态与堆积形态少。

冰水沉积的砂粒较其它冰川沉积砂粒的圆度高，为次棱或次棱→次圆级，这是主要的区别。同时，一些颗粒上有浅的三角形撞击痕。

鼓丘冰碛砂具有典型的冰川砂标志，但比现代冰川砂有更多的堆积后的变化标志。

综上所述，冰川砂的表面结构特征如下：

- (1) 不规则的颗粒形态，大部分是由于晶体形态的影响。具有尖棱或次棱的粒脊。
- (2) 贝状断口、擦痕、平行阶、碟形坑以及其它刻蚀形态是冰川砂的特征标志 (Kriensley 和 Donahue, 1968)。
- (3) 大部分颗粒具有堆积后的次生变化标志。

风 成 砂

在这一组中包括沙漠砂与风成黄土。

沙漠砂的颗粒形态与圆度都是多种多样的。粒脊从次棱到圆，但大部分是次圆。块状颗粒脊不平滑，而圆形或椭圆形颗粒则呈平滑的粒脊。小的颗粒通常呈现为“水滴形”或成为具一长轴的流线型，显然，这种形态是长时期、长距离适应气流搬运的结果，是风力搬运泥沙的颗粒形态特征。风砂的特征标志是撞击痕，当砂粒随气流搬运时，颗粒互相撞击使得砂粒表面有很多圆麻点，有的甚至成为圆形浅坑。圆滑的或者流线型的颗粒具有大量圆麻点是风成砂的最显著特征。

黄土，在华北主要是风成黄土，是在晚更新世寒冷气候时期风力吹扬沙漠中之尘土物质至沙漠外缘地带的堆积。采自黄土高原的黄土样品主要属于上述成因。下蜀黄土有一部分是经过水流搬运作用的。黄土颗粒主要是细小的粉砂级物质，随强烈的气流搬运可

长期悬浮于气流中被运到远方。至今,北京地区在春季大风时,仍会有黄土质沙尘弥漫达一、二日之久。

由于黄土颗粒细小,又经历过自晚更新世以来的长期停积以及成岩过程,所以,黄土中的石英砂粒多被次生硅所包裹(Charlesworth, 1957; Smally 和 Vita-Finzi, 1968),因此,看不到黄土石英颗粒的表面结构。但是,鉴定所有样品的结果表明,黄土颗粒具有其特殊的形态:水滴形、矛形、菱形或纺锤形,有的甚至成为扭转的螺旋形,总之,多为具有一个长轴的流线型,即长时期悬浮于气流中被长距离搬运而适应于营力特性的结果。尤其是扭转的螺旋形为气流搬运的标志形态,不仅仅是黄土,火山尘亦具此形态。水流中的悬浮泥沙亦具有流线形态,但是没有扭转形态。当然,判断沉积物成因还要结合到沉积层结构特性,不能仅用单一因子。风成黄土中的粗粒石英砂未被硅质包裹,表面具有较多的圆麻点,并且棱角多经磨圆。所有这些表面结构特点支持了黄土高原的风成黄土学说。

下蜀黄土主要分布于长江下游,采自下蜀黄土上部的样品多为次棱颗粒,具有撞击点,亦有少量V痕;有些颗粒极不规则,似乎自基岩中崩解出来后未经长途搬运;偶尔见少数颗粒被次生硅覆盖,并具贝状断口。样品表明该层物质曾被风力搬运,但夹杂着水流堆积过程,并且具有当地的物质来源。该层黄土堆积后又经历了早期成岩过程的变化。

河 流 砂

河流砂可能具有多种形态,原因在于距泥沙源地远近不同所经历的搬运距离不同。例如,宜昌附近的长江河床砂,接近三峡侵蚀下切河段的泥沙产地,砂粒未经过长距离搬运,故而棱角尖锐形态不规则,但已具有三角形撞击痕。经过河流长距离搬运之泥沙则具有下列特点:

(1) 次圆级的粒脊,或者是次圆→圆的过渡形态。

(2) 经常被水流作用的现代河床砂具有清洁光滑的表面,但尚保存着浅碟形凹面,这是原碟形坑经水流改造后的残余形态,是呈间断跳跃前进的河流底砂所特有的表面微结构。此外,由于水流的冲击与砂粒间的碰撞会形成一些宽约数十微米的三角形坑。

(3) 具有清晰的三角形撞击痕(简称三角痕,通常约数微米到十数微米),它比海滩砂的V痕个体宽大,三个边都很清晰,呈明显的三角形。同一颗粒上,由于受到的机械撞击作用强度不同,故有不同规格的三角痕。河流砂的三角痕密集程度较浑浊流砂的小,但个体清楚,也伴有小的撞击点(小于数微米)。

(4) 现代河流砂上,也有溶蚀形态及次生硅沉淀,在细小颗粒上尤为显著。

在华南亚热带气候条件下的西江现代河床砂,几乎全部被厚层的硅质包裹,这种情况与长江河床细砂相类似。然而,西江砂展示了丰富的表面溶蚀与次生硅沉积形态:葡萄状的溶蚀-沉淀面、巨V型(20微米宽)与V套V的化学侵蚀形态。这些形态标志是高纬地区河流砂所不具有的。

黄河的粗砂颗粒展示出砂粒开裂的结构,表明粗砂可以分裂成细小的颗粒,而在破裂处会形成贝状断口。

加拿大马更些河的河床砂表现出清楚的沉积过程顺序:河流作用标志叠复在冰川作

用标志上。其砂粒具有新鲜的⁹波形起伏面,但仍然可分辨出贝状断口痕迹,在次棱—→次圆形的粒脊上又叠加了新的三角痕,说明河流作用是最近的事件。马更些河的悬移质粉砂,具有菱形或矛形的颗粒轮廓,砂粒被次生硅所包裹。这种流线型颗粒与经气流悬浮搬运的黄土有类似之处,但它是长期在水流中悬浮运移,没有像绳索般的旋扭形态,螺旋形态是被气流运移的火山尘或黄土所特有的。

滨岸或海滩砂

海滩砂的形态是多样的,取决于物质来源与波浪作用过程的长短。成熟的海滩砂具有下列结构特点:

(1) 粒脊的圆度高,以次圆—→圆为主,海滩滩脊(沿岸堤)上部的沙丘砂则多呈浑圆平滑的颗粒。因此,根据圆度,又可能把海滨沙丘砂与位于滩面上的海滩砂区别出来,海滨沙丘砂的圆度最高。

(2) 具有机械碰撞形成的V痕、撞击点、刮痕线,并且具有或直或弯的沟(通称为弯曲沟)。海滩砂的V痕与河流砂的三角痕稍有不同,有时则难以区别。概言之,河流砂上的撞击痕形似等边三角形,三边都很清楚;而海滩砂的撞击痕是两腰相等而且刻痕深,而底边则是短而不明显,像个V字。刻痕形态差异反映着动力作用不同,而刻痕的尺度不同则是与所经受的作用力强度有关。

海滩砂可来源于风化壳、受海浪冲刷的基岩陡崖或冰碛物陡崖、近岸带海底和沿岸带河流。而经波浪作用不久的海滩砂还可能具有一些先期作用标志的残迹,例如,源于冰碛物的海滩砂具有不规则的形态以及碟形坑,但是,只要经过了波浪作用,即使仅仅搬运了很短的距离,砂粒表面也打上了V痕并形成次棱—→次圆的粒脊。海滩带的波浪磨蚀作用是很强的,泥沙受到波浪的拍击与浪流的推动沿着滩面呈之字型往复运动时,不断地与滩面研磨,因而残留的坑洼形态会很快地消失掉,并形成平坦光滑的颗粒。

V痕系砂粒受浪流冲击与砂粒间碰撞所形成,根据V痕的大小与密集程度可以判断波浪作用力的强度。海滩砂粒上常有不同规模之V形刻痕。大型的是V形坑,系强力撞击成的,刻痕深、呈V形嵌入粒内,这种标志多形成在高能的海滩环境或偶尔遭受暴风浪袭击的海滩。小的V痕则发育于低能环境的海滩砂上。大小V形刻痕出现于同一颗粒上,反映着该海岸环境的波能强度之变化,例如季节性的变化等。

现代海滩砂较少具有表面溶蚀与次生硅沉淀,但是,由冰碛物补给的海滩砂还可能保存着表面风化形态。

本图册提供了多种来源与各种能量环境下的海滩砂表面结构模式图相,以供对比参考。

大陆架砂

大陆架砂多半为残留砂或风暴砂层。虽然是残留砂,亦经过改造而适应于目前环境的动力条件(Swift 等人,1971; Vilks 和 Wang, 1981)。本书选用的采自加拿大和中国

1) 指未曾被次生硅所改变。

大陆架的砂样具有上述环境特征。

(1) 大陆架砂具有原始沉积环境的烙印, 因此, 可以出现多种形态与不同的特征标志。在本图册中, 来源于冰川沉积的陆架砂具有不规则形态与贝状断口; 蒲福海的陆架砂来源于河流, 因此砂粒圆度较高并且有碟形坑; 来源于海滩的陆架砂, 砂粒圆并具有较多的V痕。因此, 陆架砂的残留特征突出。

(2) 在大陆架环境中, 经受水流作用使颗粒圆度增加, 除沉溺的海滩砂具有浑圆颗粒外, 大部分陆架砂的圆度为次棱→次圆级。并且, 在先期的残留标志上叠加了少量的浅V痕, 只有偶尔发生的风暴水流可以影响到广大海底, 故而V痕的密度小, 深度浅。

(3) 具有明显的成岩作用标志, 如裂隙、表面溶蚀、次生硅沉淀以及其它水下风化形态等普遍地叠加于其它标志之上。这可能是大陆架环境下石英砂表面的特征结构。

大陆边缘与深海砂

大西洋西北部大陆边缘与深海的浊流砂起源于大陆架, 故而具有先前沉积环境的标志。厚层的浊流砂是在冰期低海面时堆积的, 当时, 大陆架受到冰川侵蚀作用, 进而向大陆边缘提供了大量粗粒物质。因此, 浑浊流沉积的石英砂表面具有大量的冰川作用痕迹: 大部分砂粒形态不规则, 具有碟形洼坑, 贝状断口多残存于洼坑内, 此外, 尚有擦痕与平行阶。碟形坑的存在反映着被水流推移并呈跳跃前进的底砂活动特征 (Wang 等人, 1982)。经过浑浊流的携运与磨蚀作用, 砂粒的粒脊多为次棱→次圆级, 比冰川砂的圆度高。由于泥沙密度大及浊流呈爆发式活动, 砂粒表面叠加着大量的机械撞击V痕与撞击点, V痕的密度大这一点与大陆架砂有明显的区别。沉积于深海环境并为时较久, 几乎所有的砂粒表面都具有溶蚀与次生硅沉积现象。所以, 不规则形态的颗粒, 次棱→次圆的粒脊, 大量的V痕与碟形坑同时存在, 坑内有贝状断口残迹以及表面上皆叠加着成岩作用标志, 这些就是大陆边缘与深海浊流砂的表面结构特征。它与海滩砂、河流砂以及冰川砂的表面结构均有着明显的区别 (Wang 等人, 1982)。

东海冲绳海槽的浊流砂具有类似的表面结构: 次棱→次圆的颗粒具有一些洼坑, V痕与撞击点叠加于表面, 并且部分地被次生硅所覆盖。该浊流砂似乎部分来源于海滩带, 还有一部分是来源于未经过改造修饰的基岩岩屑砂, 因而形态不规则。

北冰洋罗蒙诺索夫海底山脊上的深海砂样具有多源性的混合特征, 砂样中同时出现了典型的海滩砂、大陆架砂及深海浊流砂。它反映着极地海洋环境中浮冰的漂流搬运作用, 使深海区混杂着海岸与浅海环境的沉积物。此外, 极地海洋环境的砂粒表面还表现出新的冰川作用标志叠加于先前的海洋作用标志或者是老的冰川作用标志之上, 反映着冰流活动影响频繁的极地海洋环境特点。

五、结 论

以上所述是对各种环境下石英砂表面结构的概括总结, 表2列出了各种环境石英砂的特征结构以供分析鉴定。文献中对颗粒形态的特点一般都是忽略的, 实际上应予以重视。沙漠砂通常不是特别的圆, 沙漠的粉砂和黄土颗粒呈流线型或者常为螺旋形。高山

冰川砂通常具有晶体控制的形态。粒脊的圆度与颗粒形态是有区别的,它反映着不同环境下的磨蚀强度,残留凹面或洼坑的保存状况也是确定磨蚀程度的指标。大部分表面标志是破裂或者是由机械冲击所造成的。冲击(碰撞)标志的形态和尺度在各环境中是不同的,反映着碰撞作用的惯性力与粘滞性的影响程度,在不同的沉积地点是有区别的。概言之,没有任何一个表面标志是只代表某一种沉积环境的,更重要的是不同标志的组合特征。砂粒表面的成岩过程标志是发育在长期不曾发生搬运作用的堆积环境中。在陆地环境中,成岩作用与气候条件关系更为密切。

石英砂表面结构分析是判断沉积环境,解释沉积相的一个重要手段,但是,必须要与沉积层结构的特点、矿物与微体古生物的鉴定资料结合起来,才能做出正确的分析判断。在从事石英砂表面结构分析时,切忌以单粒砂和单一标志为依据,也不能仅仅依据显微相片。需要根据多颗粒、多样品的观察分析和照片比较的统计资料做出可靠的依据。总之,石英砂表面结构分析在判断泥沙来源与搬运特征方面是一个特别有价值的手段。

表 2 不同环境下石英砂表面结构的基本特征

沉积类型 \ 表面结构	颗粒形态	颗粒磨圆程度	特征标志与成岩标志
风化岩屑、残积	不规则	棱角尖锐	参差不齐的颗粒表面,粒脊上具有耳状突起翼(岩耳状结构),具有丰富的贝状断口
冰川砂	不规则,多保持原始晶体形态	尖棱→次棱	多具有贝状断口,有擦痕、平行阶,碟形坑与上翘面
沙漠砂(风积)	部分小颗粒具水滴形态	次圆→圆	大量的由机械撞击作用所形成的圆麻点
黄土中的石英颗粒(风积粉砂)	流线型的颗粒轮廓(水滴形、矛形、菱形、纺锤形、双菱形等)或螺旋形	次棱→次圆	次生硅沉淀包裹颗粒,偶见的原始表面上仍具有撞击点与撞击坑
河流砂(冲积)		次圆为主	浅碟形的凹面与三角形的机械撞击痕(三角痕或坑)
海滩砂		次圆→圆	机械撞击成的圆麻点,V痕、V形坑、弯曲沟与刮痕线
海滩沙丘砂	平滑颗粒	圆粒为主	V痕与圆麻点
大陆架砂		次棱→次圆	以残留砂与风暴砂为特征,故裂隙溶蚀孔。次生硅沉淀及少量撞击痕叠加于原陆地或海、陆交互作用的营力标志之上
大陆边缘与深海浑浊流砂	不规则	次棱→次圆	贝状断口保存于碟形坑内,多碟形坑(亦具有擦痕等)其上叠加着大量机械撞击V痕与圆麻点,密度大。溶蚀孔与次生硅沉淀叠加于其它标志之上。

参 考 文 献

- Biederman, Jr., Edwin W., 1962, Distinction of shoreline environments in New Jersey. *J. Sed. Pet.*, Vol. 32, No. 2, pp. 181—200.
- Blackwelder, Patricia L. and Pickley, Orrin H., 1972, Electron microscopy of quartz grain surface textures: the U. S. eastern Atlantic continental margin. *J. Sed. Pet.*, Vol. 42, No. 3, pp. 520—526.
- Campbell, Donald H., 1963, Percussion marks on quartz grains. *J. Sed. Pet.*, Vol. 33, No. 4, pp. 855—859.
- Charlesworth, J. K., 1957, *The Quaternary era*. London, Arnold, p. 1700.
- Cowell, R. C., 1977, Sedimentology and scanning electron microscope study of the loess and related sediments along Nonconnah Creek, Memphis, Tennessee. M. Sc. thesis, Memphis State University, Memphis, Tenn., U. S. A.
- Doornkamp, J. C. and Krinsley, D., 1971, Electron microscopy applied to quartz grains from a tropical environment. *Sedimentology*, Vol. 17, pp. 89—101.
- Hodgson, A. V. and Scott, W. F., 1969, The identification of ancient beach sands by the combination of size analysis and electron microscopy. *Sedimentology*, Vol. 14, pp. 67—75.
- Krinsley, D. and Cavallero, L., 1970, Scanning electron microscope examination of periglacial eolian sands from Long Island, New York. *J. Sed. Pet.*, Vol. 40, pp. 1345—1350.
- Krinsley, D. and Donahue, J., 1968, Environmental interpretation of sand grain surface textures by electron microscopy. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 79, pp. 743—748.
- Krinsley, D. and Doornkamp, J., 1973, *Atlas of Quartz Sand Surface Textures*. Cambridge University Press, New York, p. 91.
- Krinsley, D. H., MacCoy, F. and Whalley, W. E. (eds.), 1977, Aeolian quartz sand and silt. *Geol. Abs.*, Norwich, England, pp. 249—260.
- Krinsley, D. H. and McCoy, F. W., 1977, Significance and origin of surface textures on broken sand grain in deep-sea sediment. *Sedimentology*, Vol. 24, pp. 857—862.
- Krinsley, D. and Takahashi, T., 1962, Surface textures of sand grains—an application of electron microscopy—glaciation. *Science*, Vol. 138, pp. 1262—1264.
- Krinsley, D. and Takahashi, T., 1964, A technique for the study of surface textures of sand grains with electron microscopy. *J. Sed. Pet.*, Vol. 34, pp. 423—426.
- Krinsley, D. H. and Wellendorf, W. G., 1979, The relation between surface features and crystallographic axes on aeolian quartz sand grains. *Geol. Soc. Am., Abs.*, Vol. 11, No. 7, p. 460.
- Krinsley, D. H. and Wellendorf, W. G., 1980, Wind velocities determined from the surface textures of sand grains. *Nature*, Vol. 283 No. 5745, pp. 372—373.
- Krinsley, D. H., Wellendorf, W. G. and McCoy, F., 1978, The significance of broken quartz grains from Leg 39, Deep Sea Drilling Project. *Geol. Soc. Am., Abs. Programs*, Vol. 10, No. 3, p. 112.
- Krinsley, D., Takahashi, T., Silverman, M. L. and Newman, Walter S., 1964, Transportation of sand grains along the Atlantic shore of Long Island, New York: an application of electron microscopy. *Mar. Geol.*, Vol. 2, pp. 100—120.
- Kuenen, P. H., 1960, Experimental abrasion: eolian action, *J. Geol.*, Vol. 68, pp. 427—449.
- Kuenen, P. H. and Perdok, W. B., 1962, Experimental abrasion, 5: Frosting and defrosting of quartz grains. *J. Geol.*, Vol. 70, p. 648—658.
- Mackenzie, F. T. and Gees, R., 1971, Quartz: synthesis at earth-surface conditions. *Science*, Vol. 173, pp. 533—535.
- Margolis, S. V. and Krinsley, D. H., 1971, Submicroscopic frosting on eolian and subaqueous quartz Sand grains. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 82, pp. 3395—3406.
- Middleton, G. V. and Davis, P. M., 1979, Surface texture and rounding of quartz sand grains on intertidal sandbars, Bay of Fundy, Nova Scotia. *Can. J. Earth Sci.*, Vol. 16, N. 11, pp. 2071—2085.
- Nordstrom, Charles E. and Margolis, Stanley V., 1972, Sedimentary history of central California shelf sands as revealed by scanning electron microscopy. *J. Sed. Pet.*, Vol. 42, No. 3, pp. 527—536.
- Porter, John J., 1962, Electron microscopy of sand surface texture. *J. Sed. Pet.*, Vol. 32, No. 1, pp. 124—135.
- Powers, M. C., 1953, A new roundness scale for sedimentary particles. *J. Sed. Pet.*, Vol. 23, pp. 117—119.
- Prestel, D. J., Wainwright, J. E. and El-Baz, F., 1979, Mineralogy and morphology of the coatings on sand grains from the Gilf Kebir, Southwest Egypt. *Eos (Am. Geophys. Un. Trans.)*, Vol. 60, No. 46, p. 872.

- Rex, R. W., Margolis, S. and Murray, B., 1970, Interglacial dune sands from 300 meters water depth in the Weddell Sea, Antarctica. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 81, pp. 3465—3472.
- Setlow, L. W. and Whalley, W. B. (eds.), 1978, Age determination of reddened coastal dunes in north-west Florida, USA, by use of scanning electron microscopy. *Geol. Abs.*, Norwich, England, pp. 283—305.
- Smalley, I. J., 1966, The properties of glacial loess and the formation of loess deposits. *J. Sed. Pet.*, Vol. 36, No. 3, pp. 669—676.
- Smalley, I. J. and Cabiera, J. G., 1970, The shape and surface texture of loess particles. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 81, pp. 1591—1596.
- Smalley, I. J. and Vita-Finzi, C., 1968, The formation of fine particles in sand deserts and the nature of 'desert' loess. *J. Sed. Pet.*, Vol. 38, No. 3, pp. 766—774.
- Spalletti, L. A., 1977, Analysis of superficial quartz grain textures of glacial, fluvio-glacial and glaciolacustrine origin in Santa Cruz Province. *Asoc. Argent. Mineral., Petrol. Sediment., Rev. (ARG)*, Vol. 8, No. 3—4, pp. 59—72.
- Stieglitz, D., 1969, Surface textures of sand and heavy-mineral grains from fresh-water environments: an application of scanning electron microscopy. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 80, pp. 2091—2094.
- Swift, D. J. P., Stanley, D. J. and Corray, J. R., 1971, Relict sediments on continental shelves: A Reconsideration. *J. Geol.*, Vol. 79, pp. 322—346.
- Tsoar, H. and Gerasimov, I. P. (eds.), 1976, Characterization of sand dune environment by their grain-size, mineralogy and surface texture. *Int. Geogr. Cong.*, Vol. 1, No. 23, pp. 231—235.
- Vilks, G. and Wang, Y., 1981, Surface texture of quartz grains and sedimentary processes on the southeastern Labrador Shelf. *Current Research, Part B. Geological Survey of Canada, Paper 81—1B*, pp. 55—61.
- Wang, Y., Piper, D. J. W. and Vilks, G., 1982, Surface textures of turbidite sand grains, Laurentian Fan and Sohm Abyssal Plain. *Sedimentology*, Vol. 29, pp. 727—736.
- Wang, Y., Vilks, G., and Piper, D. J. W., 1983, The surface texture of quartz sand grains from the continental shelf environment: Example from Canada and China; Proceeding of international symposium on sedimentation on the continental shelf, with special reference to the East China sea. April, 1983, Vol. 2, pp. 1017—1029.
- Waugh, B., 1970, Formation of quartz overgrowths in the Penrith Sandstone (Lower Permian) of north-west England as revealed by scanning electron microscopy. *Sedimentology*, Vol. 14, pp. 309—320.
- Wellendorf, W. and Krinsley, D. H., 1979, Modern and ancient aeolian wind velocities: an application of sand grain surface studies. *Geol. Soc. Am., Abs.*, Vol. 11, No. 7, p. 537.
- Whalley W. B. et al., 1978, Scanning electron microscope in the study of sediments. *Geo. Abs.*, Norwich, England. p. 414.
- Whalley, W. B. and Langway, Jr., C. C., 1980, A scanning electron microscope examination of subglacial quartz grains from Camp Century core, Greenland: a preliminary study. *J. Glaciol.*, Vol. 25, No. 91, pp. 125—131.

显微照片说明

显微照片上的术语缩写符号

贝状断口	C
凹面	CO
解理面	CP
裂纹	CR
裂隙	CS
化学侵蚀V痕	CV
碟形坑(碟形凹面)	D
耳状突起翼(岩耳)	E
裂缝	F
弯曲沟	G
溶蚀孔	H
刮痕线	L
机械撞击点或圆麻点	P
平行阶	PS
擦痕	S
次生硅沉积	SF
三角痕	T
三角形坑	TD
V形坑	VD
机械撞击V痕	V

残积或风化岩屑

1—6. 风化岩屑,采自加拿大新斯科舍省阿斯派湾怀特岬的花岗岩露头上,现代沉积。

1. 怀特岬的残积砂。
 2. 棱角尖锐的长形砂粒,粒脊粗糙有突起与贝状断口,系新近自原岩中崩解出来而未经任何搬运。
 3. 尖棱而形态不规则的砂粒具有粗糙的表面,耳状突起翼(E)位于砂粒的一端。岩耳形态说明该颗粒未经任何距离的搬运。
 4. 放大的耳状突起翼(E)具有贝状断口,颗粒上具有风化形成的孔洞。
 5. 尖棱的颗粒并有耳状突起翼(E)在粒脊上,表面上还有少量风化形成的孔洞。
 6. 非常尖锐的棱脊与参差不齐的表面,丰富的贝状断口和阶梯状的层面,是自基岩中呈层状剥落所形成的。
- 7—9. 风化岩屑,采自加拿大新斯科舍省阿斯派湾怀特岬的花岗岩露头上,现代沉积。
7. 金字塔形的颗粒棱角尖锐,具有丰富的贝状断口(C)。
 8. 图7砂粒的放大,展示出残积或风化岩屑所特有的参差不齐的粗糙棱脊。
 9. 棱角尖锐的长形颗粒,充满了清晰的贝状断口(C),次生硅(SF)沉淀于贝状断口的低洼部分。
10. 风化岩屑,采自加拿大新斯科舍省沙湾的花岗岩露头上,现代沉积。
棱角尖锐的颗粒具有非常尖锐的粒脊,贝状断口大量地保存于表面上。

冰 川 砂

11. 中国西藏自治区察隅县阿扎冰川中段表碛砂。
- 12—16. 现代冰川砂,采自美国阿拉斯加东南部诺斯道夫冰川。
12. 次棱的颗粒具有波形起伏的表面,其上具有贝状断口(C)和平行阶(PS)。
 13. 图12砂粒的放大部分以示平行阶(PS)。
 14. 棱角尖锐、形态不规则的砂粒,具有丰富的贝状断口(C)。
 15. 图14砂粒的部分放大以示颗粒表面的贝状断口。
 16. 图14砂粒的另一放大部分以示粒脊上的贝状断口。
- 17—22. 现代冰川砂,采自美国阿拉斯加东南部诺斯道夫冰川。
17. 平行阶(PS)和贝状断口(C)。
 18. 棱角尖锐的颗粒具有贝状断口与轻微平行阶。
 19. 尖棱和不规则的颗粒具有碟形洼坑,丰富的贝状断口与几组平行阶。注意不同方向的断口线。
 20. 放大的图19颗粒的上部脊,不同宽度的平行阶(PS)。
 21. 放大的图19颗粒的下部展示出丰富的贝状断口(C)。
 22. 尖棱的不规则颗粒具有贝状断口(C)、碟形坑(D)以及其它刻蚀标志。
- 23—28. 现代冰川砂,采自美国阿拉斯加东南部诺斯道夫冰川前方相距4公里处。
23. 尖棱的颗粒具有晶体控制的形态,表面有贝状断口。
 24. 尖棱的不规则颗粒,具有贝状断口及一个小晶体在颗粒的脊上。
 25. 不规则形态的颗粒具有尖棱→次棱的脊。颗粒上的一些突起可能是经过修饰改造的晶体。