



中国石英砂

表面结构特征图谱

海洋出版社

中国石英砂表面结构 特征图谱

海洋出版社

1984年·北京

ATLAS OF QUARLTZ SAND SURFACE TEXTURAL FEATURES OF CHINA MICROGRAPHS

中国石英砂表面结构特征图谱

海 洋 出 版 社 出 版

(北京 市复兴门外大街)

新华书店北京发行所发行

人民卫生出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: $9\frac{3}{4}$ 字数: 200 千字

1984年8月 第一版 1984年8月第一次印刷

印数: 3000 册

统一书号: 13193·0169

定价: 4.90元

中国石英砂

表面结构特征图谱

黄汲清 题

序

扫描电子显微镜在地质、地貌工作中的运用是六十年代末以来在国际上兴起的一种新的技术手段，充分显示了利用石英砂颗粒的表面特征来判别沉积环境的巨大优越性。在我国通过近年来的实践进一步证实了这一点。样品制备及图象判读亦较易掌握适合推广。

由谢又予同志主编的《中国石英砂表面结构特征图谱》是从大量扫描照片中挑选了260幅有代表性的照片基本上概括了各种第四纪成因类型的石英砂的主要特征。它对判别各地质时期石英砂的沉积环境具有重要参考价值。

图册共包括六部分。样品的制备方法；各种成因类型的石英砂的表面结构特征；石英砂表面特征对古气候状况的反映以及在区域第四纪地质研究中的应用等。均附有中英文说明。对沉积学、石油地质学、海洋地质学、地层古生物学、地貌、第四纪地质学、水文、工程地质学等的科研、教学、生产部门的专业工作者及有关专业的大专院校高年级学生具有重要的参考作用，目前在国际上也仅有英、法两国出有两本类似的图册，我国出版发行的这是第一本。

本图谱即将由海洋出版社出版。借此机会写几句话向读者推荐。

董必清

目 录

前言	(1)
一、样品的制备	(3)
二、不同沉积环境的石英砂粒表面结构特征	(4)
(一) 残、坡积石英砂的表面结构特征	(5)
(二) 冰碛石英砂的表面结构特征	(5)
(三) 冰水沉积石英砂表面结构特征	(6)
(四) 洞穴堆积石英砂的表面结构特征	(6)
(五) 水下环境石英砂的表面结构特征	(6)
1. 冲积石英砂的表面结构特征	(6)
2. 洪积石英砂的表面结构特征	(7)
3. 泥石流石英砂的表面结构特征	(8)
4. 湖相沉积石英砂的表面结构特征	(8)
5. 海洋沉积石英砂的表面结构特征	(8)
(六) 风成石英砂的表面结构特征	(10)
三、不同气候条件下石英砂粒的表面结构特征	(11)
四、地质剖面中石英砂表面结构特征对古气候的反映	(13)
五、石英砂表面结构特征资料在区域第四纪地质研究中的应用	(14)
1. 成都粘土的成因	(14)
2. 成都平原的第四纪冰川问题	(14)
六、结束语	(16)
参考文献	(17)

Atlas of Quartz Sand Surface Textural Features of China Micrographs

Contents

Introduction	(1)
Part I Preparation of Samples	(3)
Part II Features of Quartz Sand Surface Textures in Different Sedimentary Environments	(4)
1 Features of eluvial-slope wash deposit quartz sand surface textures	(5)
2 Features of moraine quartz sand surface textures	(5)
3 Features of quartz sand surface textures in glaciofluvial deposits	(6)
4 Features of cave depositional quartz sand surface textures	(6)
5 Features of quartz sand surface textures in subaqueous environments	(6)
i Alluvial quartz sand surface textural features	(6)
ii Diluvial quartz sand surface textural features	(7)
iii Mud-flow quartz sand surface textural features	(8)
iv Features of lacustrine quartz sand surface textures	(8)
v Features of marine deposit quartz sand surface textures	(8)
6 Features of aeolian quartz sand surface textures	(10)
Part III Features of Quartz Sand Surface Textures Under Different Climatic Conditions	(11)
Part IV Reflection of Features of Quartz Sand Surface Textures to Ancient Climate in Geologic Profiles	(13)
Part V Application of Information on Features of Quartz Sand Surface Textures in Regional Quaternary Geologic Studies	(14)
Part VI Conclusion	(16)
References	(17)

前 言

光学显微镜最大可以分辨直径 $2,000\text{ \AA}$ 的颗粒,但不足以分辨直径小于1毫米的石英砂粒表面微细特征。地质、地理工作者希望能实现利用电子显微镜所具有的高度分辨率的特性来达到这一目的。目前穿透电子显微镜已能分辨 $1.5-2\text{ \AA}$ 。1951年 Folk 和 Weaver 开始利用穿透电镜研究沉积物颗粒。第一批用电镜研究、观察砂粒表面特征的文章出现在1962年 (Biederman, Krinsley, Taka Hashi, Kvenen and Perolok, Porler) 共同目的是对不同沉积环境的沉积物进行更好地描述和判断。

利用穿透电镜 (TEM) 观察颗粒形态特征是受限制的。因为它不能直接观察和判断形态特征。直到1968年,扫描电镜 (SEM) 才被广泛地运用于颗粒观察。其观察的详细程度远大于穿透电镜,充分显示了利用颗粒表面特征判别沉积环境的巨大优越性,在地学的应用上发展很快。

目前一致公认,颗粒表面的形态特征对其沉积环境及其演变的历史具有鉴定意义。人们强调,在对形态特征进行环境解释时,必须依据特征的组合,而决不能只强调某一项孤立的标志。特别应注意有些特征(如贝壳状断口)在不同环境的颗粒上都有,但出现的几率不同(如泥石流石英砂粒上的贝壳状断口远比冰川砂粒上为多)。因此研究颗粒表面特征时,可以运用数量分析的方法。扫描电镜法应用于地学也象任何其它室内分析方法一样,它只能辅助野外的宏观观察,而且其观察结果一定要有野外标志作旁证。D. H. Krinsley 强调指出,石英颗粒表面结构分析方法是一种形态分析方法,要使形态具有成因分类的意义,只有在弄清形态与成因的关系后才有可能^[1]。因此对造成不同环境下石英颗粒表面特征的机理和机制应该有公认的看法。目前在研究源地物质、成岩作用、冰川环境、水下环境、风成环境、高能化学环境方面都已积累了比较系统的资料。

近年来,除定性地利用扫描电镜观察石英砂粒的表面形态特征并借以判断其沉积环境以外,已逐渐开始采用一些半定量和定量的方法来阐述石英砂粒的表面特征。P. A. Bull 和 S. J. Culver, 1979年对 Satonia Scarp, Sierra Leone 的古沉积岩中的石英砂进行了扫描电镜研究^[2],他们将石英颗粒表面种类划分出27种类型。 $>1\mu\text{m}$ 称大的, $<1\mu\text{m}$ 为小的颗粒,起伏 $<0.5\mu\text{m}$ 的称低起伏的, $\approx 0.5-1\mu\text{m}$ 称中起伏的, $>1\mu\text{m}$ 称高起伏的。然后是贝壳状断口、阶梯、坑、刻痕、脊等,再进一步根据各自的形态细分。此外还分出生长的晶体及溶蚀裂隙等类型。

还值得提出的是 E. Derbyshire 还采用定向切片进行扫描电镜观察微结构的方法来研究冰碛物,从而确定挪威南部大陆冰盖的运动方向^[3]。

D. H. Krinsley 和 Tovey 于1976年发表了利用阴极发光 (Cathodoluminescence) 的方法来鉴定石英砂的表面和横断面。该法是电子以一定的加速电压(如 20 kV)直接轰击样品,从 $5\mu\text{m}$ 深处发射出可见光。这比发射法中的发射面要低得多(约 $500\text{ \AA}$),所以能提供不同深度上的信息。从而有可能确定石英晶格的破坏程度,而破坏程度则是地质环境中磨蚀情况的函数。研究这些指标能够提供关于象风和冰川等不同搬运营力的强度和持续时间的定量资料。甚至当地质作用过程已修饰或改变了表面特征时,仍能提供表面之下和内部晶格的情况。他们观察了六种阴极发光,对于重建古地质环境最重要的是狭窄的波段^[4]。

我国运用扫描电镜来研究石英砂粒的表面形态特征是近几年才开始的。地质工作者主要用于解释石油形成环境方面，而第四纪地质、地貌工作者则偏重对第四纪松散沉积中的石英砂进行成因类型划分，及对第四纪古气候的探讨，均尚处于感性认识阶段。因而这本书的编辑出版、将有助于对尚处在感性认识阶段的人们起着参考、对照和比较的作用。使其能判断石英砂的成因类型，进而在恢复第四纪沉积环境方面有所裨益。

本书基于上述想法，将我们在工作中遇到的几种常见的第四纪沉积成因类型中的石英砂粒的表面结构，尽量选出些代表性照片。共划分出十种成因类型：残、坡积，冰碛，冰水沉积，水下环境〔河、湖、洪积、海洋（三角洲）沉积，泥石流〕，风成石英砂，洞穴堆积。另外，则试图用石英砂表面的溶蚀程度及次生变化来阐明石英砂所经历过的古气候状况。

本图册共选照片260幅。

由四川省地质局航空地质大队主办。中国科学院地理研究所谢又予主编。全书共分六部分。其中，前言、第一、第三部分和第六部分由谢又予编写。第二部分的各节分别由崔之久（北京大学地理系），谢又予、高善明（科学院地理研究所），李洪云（四川地质局航空地质大队），张天刚（四川石油管理局地质勘探开发研究院），曾成开、朱永其（国家海洋局第二海洋研究所）编写。第四部分由李洪云编写，第五部分由刘兴诗（成都地质学院）编写。

照片的拍摄单位有：四川石油管理局地质勘探开发研究院、北京大学、国家海洋局第二海洋研究所、石油部石油勘探开发研究院、中国科学院动物研究所及感光研究所等电镜室。英文翻译工作全部由张莉（中国科学院地理研究所）完成。在此一并致谢。

一、样 品 的 制 备

通过0.25毫米的筛子，在样品中选取0.25毫米粒级的砂约3克，置于稀盐酸中煮沸十分钟。或用草酸加铝片煮沸至砂粒变白，也可用氧化亚锡溶液煮沸20分钟，用蒸馏水彻底清洗并烘干。当砂中富含有机质时，则可在强氧化溶液（如以重铬酸钾与过锰酸钾各1.5克，溶于15毫升的浓硫酸中制成的溶液）中除去。将烘干后的样品放在双目实体镜下任意挑选出15—25粒石英砂，粘放在透明胶纸上。最好成行地粘放，以便观察，既不要重叠，也不要太散，视电镜的样品墩规格而定，在较大的样品墩上可同时放几组样品，小者只能放一组样品。然后将此标本置于标准真空镀膜机中，使砂粒表面镀上一层金粉便于导电。再将镀过金的样品贴在样品墩上，即可用扫描电镜观察。

二、不同沉积环境的石英砂粒 表面结构特征

石英颗粒表面结构分析是一种形态分析法。欲使形态研究达到成因分类的目的,必须充分注意形态与成因的关系。最常见的特征是:贝壳状断口(照片9),平整的解理面(照片54)及其在颗粒边缘的表现(照片65),解理面或晶面上的翻卷薄片(照片17),各种形状的凹坑——碟形(照片12、156),三角形(照片62),圆形(照片46)等,擦痕(照片11)及 SiO_2 的溶蚀与沉淀等现象(照片140)。

贝壳状断口在电镜下常表现为一系列平行阶梯状的高脊,具有弯曲的凹坑,一般是因撞击破碎及物理风化形成的。

沿解理破碎形成的极平整的面,多出现在较小的(粒径 $<200\mu\text{m}$)颗粒上,可能代表石英的r或z晶面,常呈阶梯出现,止于颗粒边沿。在镜下可看到一系列平行薄片,代表同一方向的解理。上述特征亦常系砂粒遭较强的外力碰撞形成的。

凹坑有多种成因。碟形凹坑多系风所携带砂粒互相撞击所致。而三角形凹坑一般有两种成因,一种是水下撞击形成的,另一种则是由化学溶蚀的产物。二者的区别是,后者较深,轮廓线明显并常呈规则排列。较深的“锅形坑”则是冰川内颗粒互相挤压、研磨的结果(照片12、14)。

擦痕也有多种成因,有冰川运动时挤压磨擦形成的,也有水下环境造成的。前者粗大,较深,不平整(照片11);后者较细而浅,比较平滑。

SiO_2 遭溶蚀,则形成石英表面的各种特殊溶蚀形态。如强烈的溶蚀形成鳞剥状(照片183—186),较强时形成蜂窝状(照片198),也可形成溶沟(照片187),溶洞等(照片189)。 SiO_2 的沉淀作用由于速度、温度、介质的不同可以结晶、充填,表面覆盖等形式出现(照片231)。

此外,值得注意的是,石英砂粒的大小关系极大。粒径小于 $200\mu\text{m}$ 的颗粒,主要呈现平整的上、下解理面和颗粒边沿、薄片终端的不规则形态。大于 $200\mu\text{m}$ 的大颗粒,则多见贝壳状断口。

因而在鉴定沉积环境时必须根据上述特征的组合,出现的频率并结合野外剖面的结构、构造综合考虑作出判断。对比时最好选取同一粒径的砂粒,以避免因粒径大小造成的偏差。

此外,不同的放大倍数对于区分不同的关键性特征很重要。观察冰川砂,用1000倍就够了;研究沙丘砂,通常用2000—20,000倍;而一些溶蚀形态则用30,000倍*。

*北京大学地理系地貌教研室,石英砂的表面结构图谱,1979。

(一) 残、坡积石英砂的表面结构特征

残、坡积物均未经长距离搬运, 石英颗粒又绝大多数来自结晶岩。因而这种环境下的石英砂粒在扫描电镜下显示出非常新鲜的样子, 与母岩中的砂粒相差无几。如果完全未受风化, 其中大颗粒常具贝壳状断口, 小颗粒可能有翻翘薄片与平整的上下面。外形多呈尖角状, 很少遭受磨损。若母岩来自石英岩或石英砂岩, 则具有沉积岩中石英砂的原有特征。残积物若经历了较长的风化过程, 则有 SiO_2 溶蚀与沉淀等现象。由于颗粒的各个方向的表面并非同时露出, 因而在扫描电镜下观察, 一部分可能是未受化学作用的极为平整的面, 另一部分却包含溶蚀与再沉淀形态, 贝壳状断口已被夷平; 再一部分又可能以化学溶蚀为主(照片1—8)。

(二) 冰碛石英砂的表面结构特征

冰川环境下的石英砂粒通常是棱角尖锐的, 脊和棱角都形如刀刃(照片10)。在较大的颗粒(大于 $200\mu\text{m}$)上具有典型的贝壳状断口(照片9), 这是机械碰撞, 压碎等作用造成的。这种作用在小颗粒上则多表现为平整的解理面和向上翻起的解理片(照片17)与贝壳状断口同时存在。上述特征与刚从母岩分离开来, 未经风化的颗粒相类似。但在大小的变异和贝壳状断口及解理片的多样性上不如冰川环境的砂粒。

据 D. H. Krinsley 总结^[1], 比较小的冰川砂粒(粒径小于 $200\mu\text{m}$)受冰川研磨影响, 并不更趋向于圆化。而多半是顺解理裂开保持平整形态。然而随着颗粒变小, 它的化学反应有可能增强。因此, 非常小的颗粒常不是机械作用, 而是化学作用使其更为圆化。Krinsley 还指出: 更新世冰川颗粒通常被风化和成岩作用所改变。在这些样品中, 有些颗粒仍象现代冰川砂粒一样新鲜, 但总的说来其百分率随时间而减少。甚至老第三纪的冰川颗粒可以仍然会保留原始的冰川特征(Marglis and Kenett, 1971^[4])。

总观前人对原始的冰川石英砂粒表面特征的描述, 主要是: (1) 贝壳状断口和不规则断块, (2) 平整的解理面和翻翘薄片, (3) 平坦的平行解理面组成一系列“阶梯”, (4) 压碎和变形的解理薄片, (5) 解理面上有粘附物的平整扁平石英粒。上述特征主要来自于对阿尔卑斯山现代冰川石英砂的描述^[1], 显然未经明显的水下或化学作用的改造。在我国, 上述特征极好地反映在昆仑山现代冰川石英砂粒上。如平整的解理面和翻翘薄片以及平行解理面的“阶梯”(照片15、16), 解理面上有粘附物的平整扁平石英颗粒(照片18)。而贝壳状断口则在任何地方的冰川石英砂粒中皆有表现。特别值得指出的是, 在我国西藏东南部海洋性冰川中, 由于冰川作用能量大, 在石英砂粒上形成很深的圆形深坑(照片12)和清晰的擦痕(照片11)。这种深坑明显地区别于风力作用下, 因一次撞击而在石英砂粒上造成的浅平的碟形坑(照片159、160), 显然是由于一定时间内, 固定在某一点上挤压研磨造成的, 即使有些深坑因后期颗粒圆化而稍微变浅, 但坑内的不规则形态和基本特征仍清晰地保留着(照片14)。尤其是再加上石英砂粒上的擦痕, 这两个特征都是较为罕见的^[5]。作者对比了很多石英砂粒上类似擦痕的形象, 发现有些多条平行的类似擦痕的形象, 实际上是被水下环境改造过的平行解理面的“阶梯”或贝壳状断口中的条纹。这种条纹状影象有多条平行排列, 延展性好, 且在放大几千倍后仍光滑, 平整。而由冰川造成的石英砂粒上的擦痕只有1—2条, 擦痕底及两侧皆粗糙不平, 较短, 延展性不好, 造成这种现象的原因是不言而喻的。

(三) 冰水沉积石英砂表面结构特征

广义的冰水堆积包括三方面：“冰川-河流沉积”，“冰川-湖泊沉积”和“冰川-海洋沉积”。其中“冰川-河流沉积”常被视为狭义的冰水沉积物。我们认为“冰川-河流沉积”的含义有两点：首先，其物质系冰碛物改造而来；其次，河段内的大部分的流量由冰川溶化水供给，所以“冰川-河流堆积”应该明确地只限于离开冰川以下一定的距离内，绝不能无限地扩大冰水的“势力范围”，那样将既无严格划分的意义，又可能造成概念上的混乱。一般“冰水-河流堆积物”多数只分布在距主冰川几十公里的距离内。人们普遍认为，在山区冰水作用下，颗粒圆化速度是比较快的。一般石英砂粒在20公里距离内能见到部分棱角的圆化，而在50公里距离内则可达到很好的滚圆度并有良好的水下磨光面。此外在冰川-湖泊堆积层中，由于有较好的供水条件，可以在石英砂粒面上生长石英晶体和较多的 SiO_2 沉淀。

总之，冰水石英砂是冰川石英砂被水下环境或其他作用改造过的砂粒，大多仍保持不规则的外形，但棱角多已圆化，这是由水下磨蚀和次生的溶解作用造成的（照片30）。此外，在圆化或光滑化的表面上又叠加了水下机械成因的“V”形或其他不规则形坑，或表现为在凹坑内比突起部分不规则（照片29、31），这种情况在海洋性冰川中，由于冰川溶化水比较活跃，化学风化比较强烈而表现尤为明显。此外在能量较大的海水作用下，也具有类似特点。如阿根廷大陆架上，晚更新世被改造过的冰川砂粒，就主要表现为具有棱角已被圆化的不规则外形和贝壳状断口，平整面上又叠加了水下机械成因的“V”形坑等，这是石英砂粒反映环境变化“多代性”的表现之一。

(四) 洞穴堆积石英砂的表面结构特征

洞穴堆积是由多种外营力作用造成的，包括重力崩塌，暗河流水沉积， CaCO_3 的溶解沉淀作用和坡积等。因而洞穴堆积常是上述诸成因之综合（照片35—44）。周口店北京猿人第一地点，40余米厚的洞穴堆积就反映了上述特征。无论从轻、重碎屑矿物组合特征，还是从粒度分析的CM图均反映出流水与重力堆积作用之交替进行。 SiO_2 的溶蚀与沉淀作用亦很强烈，既有强烈的溶蚀痕迹，亦有 SiO_2 的再沉淀、结晶，也有极新鲜的未风化的石英表面。

P. A. Bull (1978)^[5]对英国南威尔士的长达24公里的洞穴系统的沉积物中的石英砂进行了扫描电镜观察，划分出22种特征。对约200个样品进行了群分析及线性判别分析，最后归成五组具不同成因的砂粒，由此可见洞穴堆积的成因是非常复杂的。

(五) 水下环境石英砂的表面结构特征

1. 冲积石英砂的表面结构特征

河流或浊流环境下的石英砂颗粒总的来看，磨圆度较高，边棱角几乎完全圆化。其中，最重要的特征是机械成因形成的V形坑或凹坑，以及水下磨光面等。就我们所见的样品而言，它们初见于放大500倍时，但在1000—3000倍时看得最清楚。V形坑由凿切下伏的解理薄片形成。小凹坑（平均直径 $0.5\mu\text{m}$ ）可能只切开一层解理薄片，较大的（直径数 μm ）则不

规则地切过好几个解理薄片，由颗粒表面向下束窄。V形坑的大小，深度和分布密度与所在环境的撞击力量有关，故可用作定量分析。

在流水环境中，颗粒表面可能形成直的或弯曲的沟槽，或由多个V形坑连接形成的假擦痕，它们任意地切过石英解理薄片，可以任何角度与翻卷薄片相交。沟槽或假擦痕长度一般为1—25 μm 。

在同一砂粒上，可能同时出现V形坑与溶蚀凹坑，随着水流能量增加，机械冲刷的痕迹增多，溶蚀痕迹相应减少。反之，则溶蚀痕迹有所增加。

综观冲积石英砂粒的表面特征，主要是：（1）砂粒边沿与棱角的磨圆度较高；（照片50，57，61）。（2）有水下机械V形坑、凹坑、假擦痕和沟槽（照片45，46，53—58和62，63）。（3）水下机械成因的磨蚀光面。这些特征在四川境内长江，嘉陵江，岷江，沱江的冲积石英砂粒表面结构中均有明显的反映。冲积石英砂上的假擦痕不同于深而直、不平整的冰川擦痕，又与方向紊乱、无一定规律的洪积石英砂表面的擦痕和沟槽有区别。作者观察了很多擦痕的形态，并与地层结构，构造特征相对比，发现这些假擦痕常见于水流方向和水动力条件较稳定、动能不太大的水流条件下。在不稳定的强大水动力的环境中，表面常形成三角形凹坑或沟槽（照片61—63）。在水动力较稳定的条件下，砂粒表面尚有清晰的水下光面和机械磨蚀的突起脊（照片46，47）。随着水流的能量增大，机械碰撞坑和翻卷薄片增多，解理突起脊减少。

在不同类型的河流中，冲积石英砂的表面特征也是各不相同的，如：

（1）山区基岩河流，属高能机械撞击环境，常能搬运粗颗粒砂砾石。以贝壳状断口和断块为主要形痕，断口棱脊清晰锋锐，反映砂粒距物源较近（照片64）。

（2）平原河流，多发育弯曲型河道，水流状况平稳，兼有机械撞击和化学沉淀，溶蚀形痕。

（3）山前分汉型河流，砂粒经过长距离搬运，撞击磨蚀，所以表面撞击V形痕密集，多条刻痕连成刻槽，同时凹陷处有 SiO_2 沉淀。

2. 洪积石英砂的表面结构特征

洪积石英砂的磨圆性较差，最重要的特征是在强烈机械撞击下具不规则外形和锯齿形脊线。据我们观察的标本，它们初见于放大500倍时，但在2,000倍看得最清楚，显示出尖角的外形，贝壳状断口与阶梯状锯齿形的石英解理脊线（照片65—68，76—78），保留有泥石流和坡积物的部分特征，但又因经流水冲磨，致使边棱部分受到一定程度的磨蚀而有所区别。

经流水磨蚀圆化的棱角，贝壳状断口，V形撞击坑，及由撞击小坑所组成的擦痕或假擦痕（照片69，71，72），反映经一定距离的流水搬运又具有冲积石英砂的某些重要特征。但又因仍保留着一些没有流水冲磨痕迹，十分新鲜的贝壳状断口，V形坑和解理薄片，而和冲积石英砂不同。经详细观察比较，洪积与冲积的擦痕有很大差异。洪积擦痕的小坑常呈椭圆状，并斜交成近于直线排列。冲积擦痕则是由三角形或丁字形小坑拉长成长条状，组成弧形或弯曲型的擦痕（照片45，71），反映出两种沉积物水动力条件和搬运形式的差异。

山前常见的冲积扇，其不同部位的石英砂表面特征也有明显差别。

（1）冲积扇顶部，为高能水下撞击环境，颗粒表面和边棱上，常有非常密集的V形坑，多坑相连形成直的或微弯曲的沟槽，并能因高密度流中颗粒之间的互相摩擦而形成擦痕（照片81，82）。

(2) 冲积扇中部, 由于水能量减低表现为撞击解理翻卷片, SiO_2 沉淀加厚和解理片剥落现象 (照片83)。

(3) 冲积扇前沿, 地形平缓, 水分条件好, 有 SiO_2 沉淀物再结晶现象 (照片84)。

3. 泥石流石英砂的表面结构特征

泥石流堆积物含有大量的泥质与巨石。在细粒级的石英砂的表面常留下了似冰川或源地物质的特征, 如多棱角, 具平整的解理面, 擦痕及贝壳状断口等。

泥石流石英砂粒与原始的冰川石英砂粒的外形特征有类似之处, 如尖棱状的外形和贝壳状断口等, 但两者的区别十分明显。首先, 泥石流石英砂粒的贝壳状断口远比冰川石英砂粒发育, 断口常十分密集分布, 在一个棱尖有 6—7 个之多 (照片91—92)。其次, 泥石流连续撞击刮削形成的擦痕 (照片91) 与冰川挤压形成深而直的擦痕有明显的差异, 和洪积、冲积形成的擦痕和假擦痕也有明显的区别 (照片45, 71—72)。这是由于泥石流运动特征决定了石英砂粒之间有更多的碰撞机会所致。第三, 其尖锐的外形 (照片97、99,) 并不与因冰川挤压而造成的平整解理面、翻卷薄片、压碎和变形的解理薄片相伴生, 当然更不会有因固定研压而造成的深坑。泥石流石英砂粒更类似于刚脱离母岩的风化碎屑, 保持光洁的平面和众多的贝壳状断面等。形象比喻很象是一些微型的旧石器 (砍砸器和刮削器) (照片85、86、90)。泥石流石英砂粒表面还独具平直而光滑的刮削面 (照片86) 和平行弧状的刮痕 (照片90), 是其他成因的石英砂所没有的。

4. 湖相沉积石英砂的表面结构特征

湖泊也和洞穴一样, 是一种天然“容器”。可以广泛容纳不同成因的沉积物。如冲积, 坡积, 风积甚至重力堆积等。因此我们在湖相沉积石英砂粒表面看到的最大特征, 是两种环境特征的叠加现象。如早期的坡积或重力堆积中, 保留有因风化或撞击而形成的贝壳状断口和原始解理面 (照片103、109、110)。它们在进入湖泊前经河流搬运, 或直接进入湖泊再经湖水磨蚀, 都会对贝壳状断口和解理面以及原来尖锐的棱角进行改造 (照片104—108)。所以常见的现象是, 磨光面或经磨光的棱角与贝壳状断口同时存在 (照片104、106、108)。由于湖水波浪的能量远不及海浪, 所以湖相石英砂粒表面上因碰撞而形成的三角形坑不如海相石英砂上那么普遍 (照片103、104、108)。

有时进入湖泊沉积中, 还有原先受到湿热化的石英颗粒 (照片101、102、112,) , 也同时记录着两种不同的环境特征。

5. 海洋沉积石英砂的表面结构特征

海洋沉积区由于波浪, 潮汐, 沿岸流作用及风力吹扬作用等的强弱不同, 可将海洋沉积物, 划分为高能海滩沉积与低能海滩沉积, 也可根据地貌部位与主要的作用营力, 划分为外陆架区及内陆架区, 或潮上带, 潮间带。在海陆之间的河流入海处并有三角洲相沉积物。

我国海岸带在第四纪晚更新世时期, 由于冰期气候的影响, 海面曾大幅度下降, 现根据东海的沉积物研究与测年资料, 在距今15000年前, 东海的外陆架区曾出露为陆, 陆架区的沉积物主要是海退时的沉积物。当时的海洋环境与今不同, 古海岸线邻近冲绳海槽, 陆架不宽, 是一种浪大流急的高能海岸。自15000年以后, 海面逐渐回升, 在距今7000年左右。海

面已相当于目前的位置。海岸的动力环境也与目前相似，主要是潮汐，波浪等的影响。

照片反映出外陆架区石英砂的表面特征保留了高能海滩的特征，如：表面被磨平、光洁，平滑，具玻璃光泽，“V”形坑及机械碰撞造成的破碎坑，以及裂隙和三角形撞击坑成排出现等。在凹处有少量 SiO_2 沉淀物，有石英晶体的生长等等（照片113—122）。这些特征在现在水深130—163米处的石英砂表面也非常明显，这不可能是现在的深度造成的，根据一般规律，在水深大于30米处砂粒已不易被扰动。

内陆架区滨海地带，可分为潮上带及潮间带（潮坪），常见有“V”形撞击坑，贝壳状断口常受磨蚀。此外石英颗粒表面也常产生化学作用特征，如方向性溶蚀沟和溶蚀坑，并有 SiO_2 的沉淀，无鳞剥现象（照片125—129）。

此沉积相带石英颗粒表面形态特征与波能的大小关系相当密切，波能愈大，机械作用愈明显，砂粒表面主要出现定向的V形坑，稍弯曲的沟槽与各种断口，极少化学溶蚀坑。波能小，化学作用特征则往往掩盖机械作用特征。

我国东海的潮间带又可分下列几个小区：

长江口及杭州湾潮间带，石英砂距物源不太远多贝壳状断口及各种方向的破碎面。表面多粘杂物，磨平的面上多微细小孔，在电镜下表面灰暗呈土色（潮差有6—7米）（照片131，132）。

温州—闽江口潮间带。属暖海区，海区的潮差3—6米。其石英颗粒多新旧二种破碎面，新断口清晰，旧断口往往有 SiO_2 沉淀层，沉淀物多数呈鲕状突起，也有受沉淀、溶蚀作用产生的网纹状表面，颗粒表面略有磨光，在电镜下呈油脂“光泽”（照片133—136）。

南黄海苏北浅滩区水深不大，目前海洋动力主要是潮流影响，本区的物质有来自黄河、淮河、也有部分来自长江。当物质进入海洋之后，受到海洋动力的改造。颗粒多溶蚀坑及溶蚀穴。表面被磨平，棱角被磨去、而不平滑，也有撞击坑、贝壳状断口和环形纹，是高能量动力所致。也有 SiO_2 沉淀形成的薄膜（照片137—140、130）。

（2）潮上带石英砂表面形态特征

潮上带主要受汹涌的海浪和浅海的风蚀作用。石英颗粒主要由来自潮间带的石英颗粒组成，其颗粒表面继承了潮间带的石英颗粒的特征，但也要被改造，通常呈现出：颗粒棱角基本磨蚀，表面多有 SiO_2 的沉淀，贝壳状断口遭磨蚀，偶而见有擦痕，但已被改造过，离潮间带远的地方，石英砂表面，见有裂纹和 SiO_2 形成的石英晶芽（如照片141—142）。河流入海时形成的三角洲沉积，兼有河流沉积与海洋沉积的特征，同样具有上述特征（照片143—148）。

（3）海滨砂丘石英砂表面形态特征

海滨沙丘的石英颗粒，由于受风的磨蚀作用，颗粒相互碰撞，使颗粒棱角进一步磨损，故磨圆度较好，棱角基本上消失呈圆滑的形状，在风的作用下，颗粒间撞击可以产生一些不太典型的碟形坑，表面有溶蚀现象及 SiO_2 的沉淀，有时具清晰的贝壳状断口，由于它是由海洋沙堤经风力吹扬改造而成，因此石英砂表面仍保留水下撞击V形痕和海水方向性溶蚀形痕，或砂粒表面有海相生物碎屑贴附（照片149—154）。

(六) 风成石英砂的表面结构特征

风的磨蚀作用使颗粒夷平。大颗粒大多很圆,没有棱角(照片155—158)。常见球形颗粒,有些成长条形,但也颇浑圆。在此球形的背景上,常在表面布满了浅的碟形坑,在扫描电镜下放大2000倍时这些碟形坑表现十分明显,(照片158)而在一般双目实体镜下观察则是具有磨圆的特征,颇似表面不光洁的磨砂玻璃,这些都是由于在风力搬运过程中颗粒碰撞而形成的。在沙漠砂中,由于夏季的炎热,及夜间水的pH值因有溶解的盐类而升高,使得砂粒表面有少量的 SiO_2 被溶解。白昼升温时,蒸发作用又使 SiO_2 重新沉淀在颗粒表面成为不规则的圆化。大颗粒上,沉淀作用主要是将风蚀凹坑夷平⁽¹⁾。

此外,在经受了磨蚀与风化作用的风成石英砂还显示出一系列的翻卷薄片(平行解理)和大的贝壳状断口,偶而还有表面裂缝,这是受强烈的热胀冷缩而导致的。上述特征均受到后期化学作用的影响⁽²⁾。

由风力作用参与形成的沉积物中,如冰缘区的成层岩屑、黄土及成都粘土等,其部分石英砂粒也都明显体现风成的特征⁽⁷⁾(照片157, 173—182)。

在冰缘环境下形成的风成黄土及成层岩屑也反映了风成石英砂的表面结构特征。近年来对中国黄土堆积的多方面研究后,比较趋向于认为黄土是冰期时的产物,即“冷黄土”。在研究了黄土中的石英砂的表面形态特征后,表明大规模的粉砂形成有可能是冰期气候下寒冻作用的结果。在第四纪寒冷时期,大量母岩被寒冻作用所破碎,或被冰川所研磨,形成大量带棱角的,具扁平面或具平行解理面的新鲜石英颗粒。由于后来遭风的分选搬运作用,因而比一般的冰碛物或寒冻风化物细小得多,以粉土为主。但采用在大倍数的扫描电镜观察下,可见其具有尖角、新鲜,解理薄片等特征(照片178—181)。

天山南北的冰缘黄土更是广泛分布,我们观察到的这种风力搬运的石英粉砂,粘土颗粒表面,常有三种特征:第一种是表面遍布大小贝壳状断口而形成的不规则的块状颗粒。第二种是因解理面发育而使颗粒表现为扁平的块状颗粒。第三种表现为弯卷,产生一些不规则的形状。由于是不规则的表面,使这种颗粒的表面积与体积之比较前两种为大。这种“歪扭”型是悬浮状态搬运的,因此在形成后受磨蚀的影响不大。D. H. Krinsley 等对巴西、阿尔及利亚的风成粉砂碎屑均总结出上述特征⁽²⁾。

四川盆地的成都粘土与中国西北、华北地区的马兰黄土相似,都是晚更新世干凉或干冷气候环境下的由风力搬运堆积的产物。从扫描电镜照片157所见,其砂粒表面光洁,有 CaCO_3 颗粒和附生物的富集,局部表面有开始溶蚀的沟槽和 SiO_2 生长的锥形晶体,面上可见新老贝壳状断口。其中老的贝壳状断口已被 SiO_2 薄膜覆盖,洁净的面上有碰撞小坑和碟形坑。联系成都粘土的扫描能谱鉴定,均为富钙性蒙脱石粘土(照片171, 172)。进一步反映了是干凉的气候环境下的风成沉积物。此外在河口砂丘中的石英砂因遭受风力搬运,仍保留以风成石英砂特征为主(照片182)。

成层岩屑是一种对划分第四纪气候阶段极有意义的沉积物。在昆仑山小南川所见的成层岩屑是由粗,中砂与小砾石交互组成。在1.51米的露头上,单层竟有302层,正好是151个韵律组合。细层主要是粗、中砂。在扫描电镜下发现其中有约40%是风成磨圆砂粒。粗粒主要是1—3毫米的细砾,皆来自当地山坡。即粗粒为片流堆积,细粒为风力堆积,是一种季节变化的产物。反映了干燥,片流与风力作用极强的气候环境⁽⁷⁾(照片173—176)。