

粤北金鸡岭丹霞群砂岩矿物表面结构 初步研究*

梁百和 朱素琳

(中山大学地质系, 广州 510275)

关键词: 丹霞群 矿物表面结构 沉积环境 成岩作用

提 要: 本文对丹霞群砂岩中的石英、长石、电气石、锆石 4 种碎屑矿物的表面结构特征作了初步研究, 并与现代河流和海岸砂质沉积物中的同类矿物的表面结构特征进行类比。文章指出, 由于成岩作用的影响, 古代砂岩中的碎屑矿物比现代砂的同类矿物具有更为复杂的表面结构, 原因在于成岩环境下, 溶解、溶蚀和压溶作用对古代砂岩的矿物表面有更深刻的改造。

1 前言

金鸡岭位于粤北乐昌县坪石镇, 面积约 0.6 km²。山岭四周均为悬崖峭壁, 由晚白 垩世丹霞群组成^①。岩层产状平缓, 构造破裂面发育^[1]。岩石组合属以砂岩为主的红色陆源碎屑岩系。岩石坚硬, 有较强的抗风化能力, 其中砂岩属河流相^[2]。碎屑组分以石英为主, 次为长石及不稳定岩屑。多数长石不同程度被粘土矿物取代, 但仍可在镜下鉴别, 且有新鲜长石保留。重矿物常见为锆石、电气石等稳定的重矿物组合。胶结物主要为可溶性碳酸盐成分。岩石易于人工破碎。作者用人工重砂法选取锆石、电气石两种稳定的重矿物和石英及未经次生变化的新鲜长石在扫描电镜下进行观察, 意在研究上述 4 种不同矿物的表面结构, 并与作者曾经研究过的现代海岸砂和河流砂的同类矿物的表面结构特征进行类比, 以探求经历成岩作用的古代砂岩矿物的表面结构与现代海岸和河流砂中矿物表面结构的区别。

2 丹霞群砂岩的矿物表面结构及其与现代砂的类比

作者曾对广东海岸及某些海岸河流**的表层砂质沉积物矿物的表面结构特征作过初步研究^[3], 并从内因及外因两方面分析其影响因素。内因主要是指矿物本身的晶体结构和化学成分以及由此而决定的物理、化学性质; 外因则指沉积环境。而在沉积环境中, 能量和水体物理化学条件对碎屑矿物表面结构的影响尤为重要^[4]。据此, 得出河流砂中矿物表面结构比海

* 国家自然科学基金资助课题。

本文于1992年3月3日收到, 1993年10月25日改回。

① 根据广东省地质学会会讯(1991年6月)丹霞群为晚白垩世早-中期。

** 主要指广州流溪河, 粤西漠阳江、鉴江等。

岸砂中矿物表面结构简单, 且以物理蚀象为主^[5]。

作者对丹霞群河流相砂岩矿物表面结构的初步研究证明, 古代河流相砂岩矿物表面结构不仅比现代河流砂的矿物表面结构复杂, 而且还比海岸砂的矿物表面结构现象更为复杂多样。丹霞群砂岩的矿物形态和表面结构已受到深刻改造, 原因在于古代河流相砂岩的矿物表面结构不仅受到搬运和沉积过程中的物理改造, 并在成岩环境中叠加了成岩介质的复杂影响。

所研究的4种矿物形态和表面结构特征分述如下:

石英: 形态呈浑圆的蘑菇状及不规则粒状, 有的接近平行四边形、五边形及不规则圆球状等。表面布满各种蚀象。主要有形态各异的机械撞击坑、碟形坑、翻卷薄片、有时具定向排列的锥形溶坑、不规则状溶坑及溶沟、麻点状小溶洞、蚝壳状及皱纹状溶蚀外表、絮状的溶蚀残留物等。所有矿物颗粒均无平整或较平整的晶面保存。

长石: 形态多数呈磨损的板状、厚板状、部分呈不规则哑铃状及次滚圆的斜方柱形态, 个别还见到水滴状颗粒。这些形态各异的颗粒除个别保留斜方柱的柱面外, 表面结构可见沿解理的裂开面, 沿解理及双晶纹出现深浅不一、断续分布的溶坑、不规则溶沟及溶沟中的絮状粘土残留物、菱形方解石沉淀物、大小不一深浅不同的溶孔、麻点状小溶洞及沿颗粒延长方向分布的溶蚀纹。溶蚀纹有时沿一个方向撒开。此外, 还可见到受两组解理控制的溶蚀瘤状体(溶瘤)。

电气石: 形态多为晶棱已磨损的柱状或具蚝壳状表面的破碎颗粒, 部分为圆球状。表面结构主要有密集分布的机械撞击坑, 个别撞击坑呈“八”字形。并有蚝壳状及皱纹状表面蚀象、相互交叉的溶蚀沟纹、不规则的瘤状体、深浅不同的溶沟及相间在其中的细小溶洞。

锆石: 基本保留四方柱和四方双锥形态, 但柱面及锥面、晶棱均被磨损。表面结构较为简单, 主要是碟形坑及在柱面、锥面撞击坑基础上发育的不规则溶蚀坑。所见溶坑较浅, 只有个别柱面上见到较深的溶沟, 且沟内偶有铁质沉淀物。

综上所述, 不同种类矿物既有相似的形态和表面结构, 又各具特色。同是机械成因的撞击坑及碟形坑或者是化学成因的溶蚀沟纹, 但发育程度、大小及密集程度差别很大。例如, 电气石的撞击坑中, 既有深而大的“八”字形撞击坑, 又有大而深的碟形坑以及较为密集分布于颗粒表面的不规则撞击坑群体。可见, 机械作用造成的各种表面结构在电气石中比较常见。但对电气石表面的进一步改造则多在各种机械蚀象的基础上进行。这就是叠加于前者的溶解、溶蚀和压溶作用。且后者对电气石的改造甚为深刻, 乃至不能从形态反映电气石的结晶习性。例如, 圆化程度较高外形呈球状或不规则状的电气石, 表面呈参差状边缘(蚝壳状、皱纹状, 照片1), 进一步放大这些颗粒表面, 可以见到密集分布的不规则溶沟及散布其间的小溶孔(照片2)。有的溶沟相互交错, 溶洞圆滑而深刻(照片3)。极少见到未经化学改造的平滑晶面。长石除个别呈参差状边缘(蚝壳状, 照片4)外, 多数保留长石结晶习性的板状形态, 但溶解、溶蚀及压溶等蚀象多沿解理发育, 溶沟、溶纹呈线状分布(照片5)。沿两组解理裂纹尚可进一步溶解, 形成瘤状形态(照片6); 石英圆化程度一般较高(照片7), 除一些如碟形坑、翻卷薄片及其上的SiO₂絮状沉淀物等特殊结构外, 多数颗粒呈参差状(蜂窝状)、蚝壳状(照片8)及皱纹状等不规则表面(照片9)。在扫描电镜下放大至1500倍以上时, 可见到这些参差状外表实际上是一些密集分布的点状机械撞击坑及叠加

其上的溶坑及溶沟,后者有时具定向排列(照片10);锆石的形态和表面结构较为简单,颗粒外形多数保留原始结晶习性,晶面和晶棱易受机械磨损。表面结构简单,除偶尔可见叠加于撞击坑之上的化学蚀象外(照片11),主要为机械蚀象。有的锆石在扫描电镜下放大2400倍也能见到平整的撞击面而无明显的化学蚀象叠加,显示了极强的稳定性(照片12)。偶尔见到溶坑发育,规模也较小,与其它3种矿物比较大为逊色。可见,上述4种矿物虽处于同一环境,遭受同样的作用与改造,但结果各不相同。

如果将丹霞群河流相砂岩的矿物形态和表面结构与现代河流砂的形态和表面结构^[5]作一类比,则前者复杂,后者简单。其特征对比见表1。显然,不同种类矿物的改造程度亦不尽相同。其中,现代河流砂上述4种矿物表面被改造的深刻程度从强到弱的顺序是长石—石英—电气石—锆石;而丹霞群砂岩上述4种矿物表面被改造的深刻程度从强到弱的顺序是电气石—长石—石英—锆石。前者仅受到搬运—沉积过程中的改造,与矿物稳定性顺序完全一致;而后者矿物表面结构除受到搬运—沉积过程中的影响外,还叠加了成岩阶段的改造。因此,与矿物的稳定性顺序未必完全一致。

表1 现代河流砂与丹霞群砂岩矿物的表面结构特征对比

Table 1 Comparison of surface texture characteristics between minerals from modern river sands and those from the Danxia Group

矿物种类	矿物表面结构特征	
	现代河流砂*	丹霞群河流相砂岩
石英	不规则棱角、半棱角颗粒,贝壳断口,溶蚀丝纹及不规则溶坑,不规则撞击坑,干缩纹坑等	不规则磨圆颗粒,蚝壳状、皱纹状外表,深而大的撞击坑,碟形坑及密集分布的点状机械-溶蚀坑,断续分布的短溶沟,翻卷薄片及SiO ₂ 絮状沉淀物
长石	不规则滚圆或板状颗粒,与解理平行的溶沟及溶纹,个别表面有干缩坑、纹及蜂窝状、皱纹状结构,机械撞击-溶蚀坑	不规则板状碎块,具参差状溶蚀外表,麻点状不规则溶洞及小溶孔,线状溶沟,交叉状溶沟及瘤状体,各种表面结构布满颗粒表面,且密集分布
电气石	磨圆或碎块状颗粒,较浅的撞击坑,沿纵线发育的溶纹、溶沟,较浅的不规则溶坑	球状、碎块状、不规则粒状颗粒,参差状的蚝壳表面,深而大的“八”字形撞击坑及碟形坑,不规则线状溶沟及小溶坑,大而深的溶洞,交错分布的溶蚀沟、纹
锆石	半滚圆状或极圆状颗粒,浅的机械撞击坑及碟形坑	晶棱已磨损的圆-半圆状颗粒,浅的机械撞击坑及碟形坑,浅而小的溶坑或机械-溶蚀坑

* 综合广州流溪河、粤西漠阳江、鉴江等现代河流边滩和心滩资料。

3 成岩作用对矿物表面结构特征的影响

影响现代砂质沉积物及古代砂岩矿物表面结构的因素是多种的。首先,它们都经历搬运和沉积阶段,矿物的形态和表面结构受搬运和沉积环境条件制约。据作者研究^[5],河流环境中的砂质沉积物经受了淡水的搬运和沉积作用,化学溶解能力很弱。因此,矿物表面结构主要受物理作用影响;海岸环境中的砂质沉积物除经受河流淡水搬运和沉积作用外,还受到海水介质(潮汐和波浪)的搬运和沉积作用影响,溶解和溶蚀作用较强。因此,其矿物表面结

构远比河流环境形成的矿物表面结构复杂，且以化学蚀象为主，并有物理-化学作用叠加。古代砂岩除搬运和沉积阶段与现代河流作用因素相似外，更重要的是在成岩阶段中，成岩介质对矿物表面的溶解、溶蚀和压溶作用使河流相砂岩比现代河流及海岸砂的矿物有更为复杂的表面结构。这些溶解、溶蚀和压溶作用与风化、搬运和沉积过程中的溶解作用虽同属化学行为，但成岩环境下成岩介质（粒间孔隙溶液）对矿物的溶解、溶蚀、压溶作用是在掩埋条件下，并在温度较高、压力较大、作用时间较长以及粒间孔隙溶液物理化学条件不断改变的情况下进行的。丹霞群河流相砂岩主要是钙质不等粒长石石英砂岩。根据成岩组构分析，成岩作用中的胶结和压溶作用最为突出，其次是压实及局部的交代和石英的次生加大作用。如上所述，不同碎屑矿物在成岩作用影响下有不同特点。例如，控制石英成岩过程中的溶解因素主要是 pH 值和温度。石英表面的溶解和溶蚀作用在成岩阶段早期即行开始。粒间溶液的碳酸盐含量和 pH 值的影响特别显著。当钙质胶结物尚未形成时，粒间孔隙溶液富含大量碳酸根，pH 值较低。钙质胶结物形成过程中，粒间溶液逐渐变为碱性介质，pH 值增大。当 pH 值达到 8 以上时，石英的溶解度迅速增加，溶解作用首先从石英颗粒尖锐的角顶和晶棱开始，因为该处的表面能比晶面高，据 A. R. Hurst 的实验研究^[6]，表面能的变化控制着溶解作用。因此，石英的圆化是成岩阶段溶蚀作用对颗粒进一步改造的结果。所以，一些表面边缘极为圆滑的球状颗粒单纯解释为机械磨圆成因是不全面的。颗粒棱、角溶圆的同时或之后，一些具蚝壳状、皱纹状乃至点状碎体分布的溶坑和小孔洞是在较高压力下溶解作用不断进行的结果。石英的表面结构中，线状沟、槽发育较少，主要原因是石英解理及双晶不发育，点状化学蚀象未能变为线状形态。当钙质胶结物几乎将孔隙空间填满时，碳酸盐矿物阻止了孔隙溶液运移，介质溶液碱性减弱。此时，石英的溶解能力和速度渐趋降低。酸性成岩介质对碱性长石和电气石等矿物的溶解作用明显增强。长石和电气石的溶解亦沿颗粒角顶及晶棱开始，具有极为圆滑边缘的球状电气石便是溶蚀的结果。当溶解和压溶作用加速进行时，电气石、长石均可形成参差（蚝壳）状的表面结构。溶解蚀象常沿解理纹、双晶纹及纵纹（电气石）深化，以至线状（正长石）的溶蚀丝纹、不规则的线状沟、槽布满晶体表面。长石的瘤状蚀象明显被两组解理控制。可见，本区丹霞群砂岩的长石和电气石表面结构特征比石英更为复杂。除了矿物本身习性外，主要与成岩介质的 pH 值变化有关。锆石是 4 种碎屑矿物中最稳定的矿物，其硬度大，化学性质稳定。成岩环境下的表面溶解作用多沿先形成的表面结构进行。其种类和规模大大逊于其它矿物。比较常见的表面结构是浅的碟形坑和点状分布的溶坑，多在机械撞击坑的基础上发育。

通过丹霞群砂岩矿物表面结构与现代砂质沉积物矿物表面结构的对比研究表明，很多古代砂岩的矿物表面结构大多在成岩阶段形成或者是在成岩阶段叠加改造而形成的。因此，这一研究有助于恢复成岩环境和成岩强度。如能进一步通过现代沉积物和古代岩石矿物表面特征的系统对比研究，建立矿物表面特征标型，对深入研究成岩作用是一种可行途径。这是作者撰写本文的目的所在。

参 考 文 献

- 1 陈国能等，粤北金鸡岭丹霞地貌发育与地质构造的关系，第四纪研究，1991，(3)：229—236。
- 2 梁百和等，粤北金鸡岭丹霞地貌的岩石学分析，热带地理，1992，12(2)：133—140。

- 3 朱素琳等. 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, 1986, 6(3): 242—246.
- 4 梁百和等. 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, 1989, 8(2): 180—188.
- 5 朱素琳等. 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. 岩石矿物学杂志, 1990, 9(2): 159—166.
- 6 恩格哈特 V. 沉积物和沉积岩的成因. 王东坡译. 北京: 地质出版社, 1982, 170—184.

A Preliminary Study on the Surface Textures of Minerals from Sandstone of Danxia Group in Jinjiling Area, North Guangdong

Liang Baihe Zhu Sulin

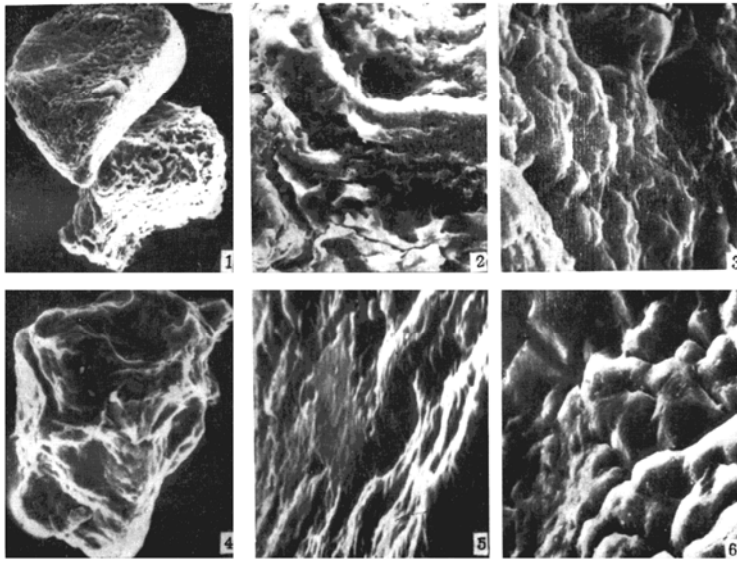
(Department of Geology, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Key words: Danxia Group; surface texture of mineral; sedimentary environment; diagenesis

Abstract

The Danxia Group in Jinjiling area of north Guangdong is mainly composed of fluvial facies calciferous sandstone. On the basis of grain size analysis and artificial placer mineral analysis, four detrital minerals, i. e., quartz, feldspar, tourmaline and zircon were studied under a scanning electron microscope, and it is thus discovered that their surface textures are much more complex than the surface textures of similar minerals from any modern coastal and fluvial arenaceous sediments the authors have ever studied. The reason is that the surface of detrital minerals in ancient sandstone not only underwent transformation in the process of weathering, transportation and sedimentation like what detrital minerals are experiencing in modern rivers or coastal areas, but also suffered superimposition of further transformation during diagenesis. The composition of intergranular liquid and the change in temperature and in pH value under the diagenetic conditions played an important role in the formation of surface textures of minerals. It is therefore obvious that the various characteristics of surface textures of minerals are related not only to mineral behaviors but also to the action and influence of the media in the diagenetic environment.

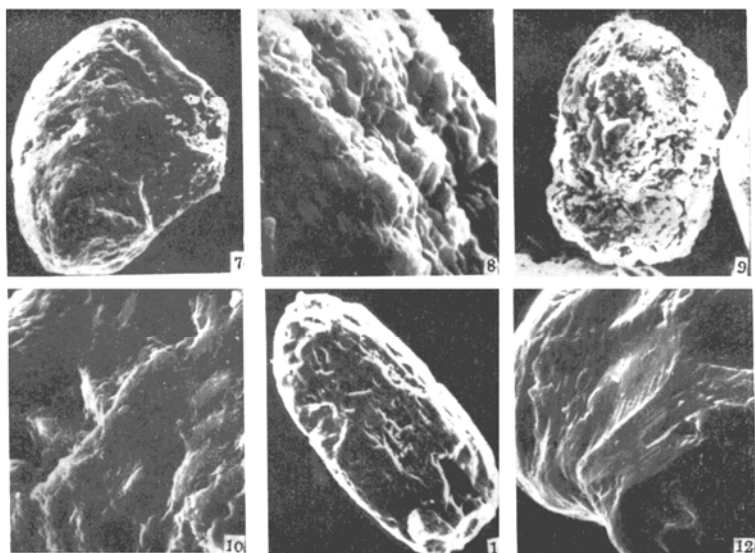
A comparison of surface textures of various minerals shows that, in addition to the physical and chemical properties of minerals, the temperatures and pH values of the media in the diagenetic environment are also important factors affecting the formation of surface textures of minerals, with the main reaction being dissolution. The degree of transformation of the four minerals is in decreasing order of tourmaline→feldspar→quartz→zircon, which is not quite consistent with the sequence of stability of these minerals,



图版说明

- 照片 1 电气石不规则状颗粒，表面具蚝壳状、皱纹状蚀象。扫描电镜 $\times 240$
照片 2 电气石不规则状溶沟及散布其间的小溶孔。扫描电镜 $\times 1020$
照片 3 电气石不规则状溶沟、溶纹相互交错，可见深而圆的溶蚀洞。扫描电镜 $\times 2400$
照片 4 长石不规则板状颗粒，表面具蚝壳状蚀象。扫描电镜 $\times 360$
照片 5 长石沿解理发育的线状延伸溶蚀沟、纹，其间分布深浅不一的溶坑。扫描电镜 $\times 2100$
照片 6 长石由两组解理限制的不规则溶瘤。扫描电镜 $\times 1200$

www.yskw.ac.cn



图版说明

照片7 石英蘑菇状外形，表面具蜂窝状蚀象。扫描电镜 $\times 360$

照片8 石英表面的蚝壳状蚀象。扫描电镜 $\times 3000$

照片9 石英不规则圆状颗粒，表面具皱纹状蚀象。扫描电镜 $\times 300$

照片10 石英点状分布的溶坑，深浅不一，有的略具定向排列，局部为翻卷薄片。扫描电镜 $\times 1800$

照片11 锆石磨圆状颗粒，表面散布的不规则状溶坑在撞击坑基础上发育。扫描电镜 $\times 360$

照片12 锆石锥面上的不规则溶坑及溶沟，在撞击坑基础上发育。扫描电镜 $\times 2400$

www.yskw.ac.cn