

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

梁百和 朱素琳 吴华新

(中山大学地质学系)

主题词: 重矿物; 沉积环境; 陆源矿物组合; 近源-自生矿物组合

提 要: 广东省海岸表层沉积物中的重矿物近40种。含量较高的有钛铁矿、赤铁矿、磁铁矿、锆石、电气石、黑云母和普通角闪石等。自生矿物主要为硬石膏、自然铜、黄铁矿及菱铁矿。这些矿物来自附近的母岩。根据物源性质不同,可将不同岸段重矿物区分为陆源矿物组合、近源-自生矿物组合和近源矿物组合三种;除物源控制外,重矿物含量、种类、形态特征及其在平面上的分布主要受沉积环境影响。据此,可将重矿物分布类型划分为河口型、海湾型和海岛型三类,且与上述不同矿物组合性质相对应。

本文是作者于1980—1986年参加广东省海岸带调查所采集分析的295个重矿物样品及参考协作单位广州地理研究所、中山大学地理系所提供的107个重矿物鉴定资料的总结。着重归纳重矿物含量、种类、形态及其分布特征,分析其控制因素,进而说明其环境。

表层沉积物样品主要分布于潮间带以上近岸的各种地貌单元和0—10m水深范围内,其次为10—20m水深,个别样品位于水深100m处(图1)。鉴于这些样品所在沉积部位的能量条件复杂,水体物理化学因素各异,沿岸陆地地貌类型多样,使本文分析重矿物特征及其与沉积环境关系有着鲜明的地区性特点。

一、重矿物种类和形态特征概述

广东省海岸表层沉积物的重矿物种类比较复杂,但以陆源矿物为主,间有少量自生矿物。主要是硅酸盐类、氧化物类矿物,其次是硫化物类、磷酸盐类、碳酸盐类矿物。矿物种类主要是钛铁矿、赤铁矿、磁铁矿、电气石、黑云母、锆石、普通角闪石、绿帘石、透辉石、透闪石、铌钽铁矿、铌钇矿、夕线石、褐铁矿、金红石等;少量或局部出现的有独居石、十字石、重晶石、石榴子石、磷灰石、锐钛矿、蓝晶石、磷钇矿、萤石、硅灰石、榍石、锡石、黄玉、孔雀石、黑钨矿、硬锰矿、磷铈铝石、菱镁矿等;自生矿物主要是黄铁矿、自然铜、硬石膏、菱铁矿等。这样矿物分布于不同岸段的各个沉积部位,含量比例差异甚大。例如,钛铁矿、电气石、锆石等多分布在珠江口外西侧海岛、海南岛及粤西岸段;赤铁矿、磁铁矿、黑云母等多见于珠江口和粤西岸段;重晶石为珠江口岸段所特有;而自生矿物硬石膏、自然铜为粤东及粤西岸段的较高含量矿物。矿物种类不均衡分布主要由物源因素

(陆源矿物)和介质物理化学及能量条件(自生矿物)控制。矿物的形态特征亦很复杂,大体可分三类:一类晶形保留完好,主要是硬石膏、自然铜与黄铁矿等自生矿物;另一类原始晶形保留较差,多呈颗粒状、碎块状、次棱角一半滚圆状。大多数矿物具有这一形态特征。如钛铁矿、磁铁矿、普通角闪石等;第三类矿物形态可分为两种。一种原始晶形保留完整,多未经磨损;另一种则破碎成较尖锐棱角状或被改造成次棱角一半滚圆一滚圆状,主要是锆石和电气石等。形态特征的多样及其变化主要取决于沉积部位的能量条件及矿物的搬运和改造历史。

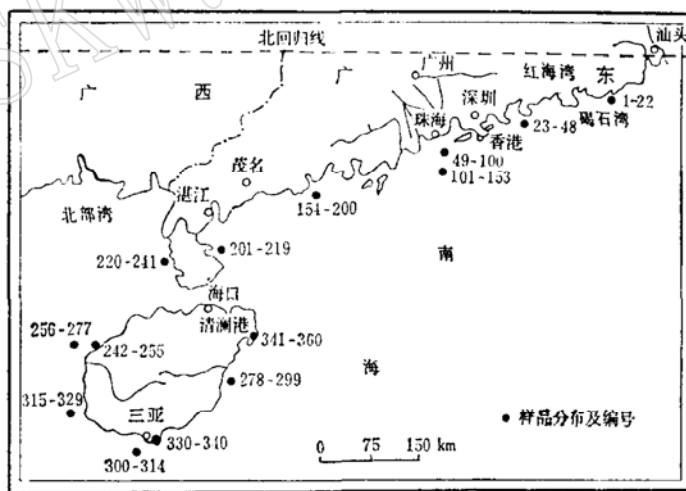


图1 广东省海岸重矿物样品分布图

Fig.1 Sampling locations along the coastal area of Guangdong

二、不同沉积部位的重矿物及自生矿物

1. 重矿物及自生矿物的含量分布

根据全省各岸段综合统计,重矿物含量平均为4.44%,最高为92.33%,最低为0.05%。平均含量各岸段明显不同,甚至同一岸段不同地段、不同水深部位也有明显差异。就各岸段比较而言,以珠江口外西侧海岛及海南岛含量最高,达12.51%及9.78%。含量最低的地段在粤西西段的雷州半岛,仅0.56%。各岸段重矿物平均百分含量见表1。同一岸段不同沉积

表 1 广东省海岸各岸段重矿物的百分含量

Table 1 Percentage contents of heavy minerals in various coastal sections of Guangdong

岸 段		重矿物百分含量			样 品 数 (个)
		最 高	最 低	平 均	
粤 东		24.25	0.12	3.60	48
珠 江 口		18.45	0.18	2.38	48
珠江口外西侧海岛		92.33	0.05	12.51	21
粤 西	东 段	12.00	0.10	2.90	48
	西 段	3.30	0.10	0.56	41
海 南 岛		65.24	0.05	9.78	98

部位比较,重矿物含量分布各有特点。例如,粤东东部柘林湾、韩江口重矿物含量较高,向西至神泉湾、碣石湾、红海湾及大亚湾含量降低。同一海湾比较,0—5m水深的浅水部位重矿物含量大于较深水部位;珠江口外西侧海岛的重矿物含量差异极大,主要富集在各海岛海湾部位^[1]。以邻近广东大陆海岛的北部和东部海湾较高。如三灶岛莲塘湾、高栏岛牛角沙、大横琴岛大横琴湾等地,重矿物含量从1%—40%不等。个别样品似经历自然淘洗富集,含量高达92%。而各海岛南部沿岸,重矿物含量较低。如三灶岛西南的阳光咀、大横琴岛东南侧的二横琴湾,含量一般在1%以下;在海南岛,潮间带至近陆部位,重矿物含量最高,平均为11.28%。水深15m以至更深部位次之,平均为3.03%。而水深浅于15m部位(潮下带)重矿物含量最低,平均只有2.36%。即垂直海岸方向从近岸到远岸,重矿物含量呈现高一较低一较高跳跃式变化。根据海南岛全岛各地段水深5m以及更深沉积部位分析,以西、北部岸段重矿物含量较高,平均为3.45%及3.33%;东部次之,平均为2.73%;南部含量最低,仅1.77%。对某些河口、海湾及较为平直海岸的重矿物含量统计表明,分布似无明显规律。例如,珠江口处于河流出口地域,有利于沉积物的大量堆积。但其重矿物平均含量仅有2.38%,明显低于相邻岸段。但该岸段的重矿物含量分布亦有差异。河口近岸和较深远远岸(水深10—30m)部位含量最低,仅1%;河流出口缓流一侧及河口心滩尾端含量增高,平均为2—3%;浅水近岸及水深5m左右,为该岸段的最高含量区,达3—4%,超过该岸段的平均百分含量。因而有近陆、近海两端含量低,中段含量高的特征^[2]。据海南岛昌化江河口附近14个样品统计,重矿物平均含量为5.17%,高于该岛区域重矿物含量的平均值;文昌河和文教河口,重矿物含量更低,平均为1.06%。这两条河流汇合的八门湾及邻近海域,根据20个样品统计,重矿物含量平均只有0.82%。在该处,岸线平直的高隆湾与相邻的八门湾比较,重矿物含量更低,多数样品含量<0.5%^[3]。

所列不同岸段和同一岸段不同部位重矿物的平均含量数据表明,影响重矿物含量特征和分布规律的因素比较复杂。首先,重矿物含量与表层沉积物的粒度大小有关。珠江口外海岛所分析的样品多数选自细砂粒级。作者曾对不同粒级重矿物含量分布作过试验性分析鉴定^[1],确认3—4 ϕ 的粒级范围重矿物含量最高;海南岛重矿物分析样品亦多选自细砂,只有部分

粗、中砂及少量砾质沉积物。因此,重矿物含量亦高。而珠江口岸段表层沉积物多为粉砂、粘土质粉砂或粉砂质粘土。这一粒级范围重矿物含量偏低。其次,与物源供应是否充足有关。珠江口外西侧海岛是珠江河流径流和潮汐作用的天然屏障。由珠江带出的大量碎屑沉积物主要向西迁移,并受到西侧海岛阻挡,有利于陆源碎屑物质沉积。而且,那里沿岸基岩的剥蚀作用亦为海岛沿岸提供大量近源沉积物。适宜的粒度,充足的物源供应是珠江口外西侧海岛及海南岛沿岸重矿物含量较高的主要原因。而在粤西岸段,东段广海湾至陵山港一带虽是接受珠江径流转移物质向西迁移沉积的重要场所。但该处重矿物含量偏低。这不仅是因为表层沉积物粒度细小(以粉砂质粘土为主),也因为珠江径流带出的转移物质到达这里逐渐减少。加之地段附近沿岸基岩裸露较差,导致物源不足,重矿物含量较低。在海南岛岸段,南部地段与相邻地段比较,重矿物含量最低。因为这里既无河流从岛内带出陆源物,沿岸多有珊瑚岸礁分布。且面向浩瀚南海,波浪作用强烈,难以有更多其它物源供应和积累。此外,河口与海岸附近海域交汇部位,重矿物含量高低与河流性质及流域两岸基岩关系密切。作者曾经选择珠江等五条流量不同的河流河口重矿物含量的平均值作过统计,为3.68%,略低于全省岸段的平均值,未能得出河口环境与重矿物含量高低关系的规律。这是因为所统计的五条河流性质和流域两岸地貌及基岩出露情况区别较大。因此,河口环境与重矿物含量关系要作具体分析。例如,海南岛西岸昌化江河口海域,重矿物含量高于区域平均值。因为该河流流经地段地势较为陡峻,水流落差较大,冲刷流域两岸花岗岩类岩石能力较强,河流携带陆源物到达河口附近流速减缓,导致较多的重矿物集中;而东岸文昌河、文教河与八门湾汇合的邻近海域,河流流域和近岸陆地均为淤积粉砂—泥滩、海积平原或阶地,并发育红树林岸。河流冲刷形成沉积物能力有限。即使河水进入海湾流速减缓,也只能保持区域最低的重矿物含量。

2. 不同岸段重矿物及自生矿物种类的分布

广东省海岸表层沉积物的重矿物近40种。但是,一个岸段的较高含量矿物不过4—5种,并都反映一定的母岩类型和介质的物理化学条件。现将各岸段重矿物种类、含量及形态特征分述如下:

(1) 粤东岸段 主要矿物为黑云母、钛铁矿、普通角闪石,平均含量分别为15.59%、6.64%、6.57%,高于其它矿物含量2倍以上。次要矿物为赤铁矿、绿帘石等。此外,尚有其它岸段罕见的碎屑状菱镁矿。自生矿物含量很高。从矿物种类分布变化情况分析,以东部柘林湾矿物成分最为复杂。既有火成岩型、蚀变型矿物,也有沉积型矿物。火成岩型矿物为磁铁矿、普通角闪石、钛铁矿、黑云母、石榴子石、锆石、电气石、榍石;蚀变型矿物主要为夕线石、绿帘石、十字石等;沉积型矿物主要有鲕状赤铁矿、松散褐铁矿、结核状自生黄铁矿等。从柘林湾向西各海湾虽仍以火成岩型重矿物为主,但蚀变矿物大为减少,矿物种类趋于简单,沉积型矿物明显增加,以红海湾最为突出。此处硬石膏、自然铜含量较高,分别为19.02%及4.30%。另外,尚有菱铁矿、黄铁矿及褐铁矿等。这一岸段水深大于5m和少于5m部位相比较,在多数港湾中前者重矿物种类复杂;后者种类简单,且不同港湾有一定差异。例如,大亚湾—5m以浅近岸部位主要是沉积型矿物。—5m以及更深部位仍以火成岩型矿物为主,尚有较多种蚀变型矿物。在矿物形态方面,—5m以及较浅的近岸部位通常出现两种形态。一种呈滚圆、半滚圆状,晶形不甚完整;另一种呈碎块状,改造不甚明显。深

于-5 m 部位除自生矿物外,矿物晶形完好者较少,多呈半滚圆、滚圆状颗粒,光泽也较暗淡。

(2) 珠江口岸段 主要矿物为磁铁矿、赤铁矿、黑云母,平均含量分别为11.56%、23.66%及15.55%,高于其它矿物平均百分含量达5倍以上。次要矿物为锆石、绿帘石、透辉石等。自生矿物主要为黄铁矿。水深10—20m所分布的重晶石及反映该河口特定能量和物理化学条件下形成的铁质浑圆颗粒为这一岸段所特有。从矿物种类及相应形态特征分布变化情况分析,河口附近及0—5m水深的近岸浅水区多为磁铁矿、赤铁矿、锆石、电气石等。这里的矿物以圆度较好为特征;5—10m水深的较浅水区,除赤铁矿、电气石、锆石等含量较高外,还含有一定量的钛铁矿、夕线石、透辉石、透闪石、黑云母,并有少量金红石、独居石、磷灰石等出现。这些矿物以不规则颗粒状为主,多保留原来矿物晶形;在伶仃洋以东-5m水深近岸地带,重矿物含量多不超过1%,种类明显减少,但外形多呈滚圆一半滚圆状。综上所述,这一岸段的重矿物种类较多,但仍以火成岩型矿物为主,并有少量蚀变型矿物,自生矿物种类很少。

(3) 珠江口外西侧海岛 主要矿物为钛铁矿、磁铁矿、锆石、电气石,平均含量分别为20.06%、15.55%、8.17%和7.69%,高于其它矿物平均含量6倍以上。次要矿物为普通角闪石、褐铁矿、黑云母。自生矿物很少,锐钛矿偶尔可见。某些矿物含量分布变化较大是本岸段重矿物的分布特点之一。作为主要矿物的钛铁矿、磁铁矿,其含量变化幅度在0—61%及1—30%。例如,三灶岛莲塘湾中部,钛铁矿含量高达60%,岛东西两侧含量亦达15%以上。而在该岛东南、西南和高栏岛西南沿岸,基本没有发现钛铁矿。重矿物的形态特征在各岛屿亦存在一定差异。例如,三灶岛沿岸磁铁矿常呈不规则粒状,并与石英呈连生体产出。高栏岛的磁铁矿则呈单体状态,颗粒圆度较好,晶面比较粗糙。而大横琴岛沿岸,磁铁矿颗粒细小,无一定晶形。

(4) 粤西岸段 东段广海湾至水东港与西段雷州半岛沿岸重矿物组成有较大区别。东段矿物种类较多,近23种。主要矿物为黑云母、硬石膏、褐铁矿和电气石。其平均含量分别为21.41%、12.79%、9.19%、12.88%,高于其它矿物平均含量6倍以上。次要矿物为锆石、绿帘石。自生矿物种类较多,含量也大。主要有硬石膏、黄铁矿及自然铜。其中硬石膏是本地段的主要矿物,但分布不均匀,和另一主要矿物黑云母一起,多分布于-5m以及较深水部位。各海湾-5m以及较浅的浅水部位比深水部位矿物种类简单,后者以自生矿物含量增高,种类复杂为特征。如菱铁矿、硬石膏、自然铜、黄铁矿等。西段雷州半岛沿岸矿物种类简单,仅12种。主要矿物为赤铁矿、普通角闪石、锆石、磁铁矿,其平均含量分别为34.68%、28.05%、14.07%及11.12%,高于其它矿物含量5倍以上。次要矿物为白钛石、金红石等。自生矿物简单,含量也低。

(5) 海南岛岸段 主要矿物为钛铁矿、锆石、电气石,平均含量分别为22.95%、8.44%及6.98%。次要矿物为赤铁矿、普通角闪石、绿帘石。自生矿物主要是黄铁矿,全岸段各地的矿物种类分布差别不大。除钛铁矿外,平均含量也比较接近,但外形特征有明显区别。近岸极浅水(即0m水深附近)部位,矿物改造程度较深,多数矿物晶形极不完整或呈半滚圆状,黄铁矿多呈碎块状。远岸较深水(大于5—10m水深)部位的矿物特征与之类似。唯黄铁矿呈结核状颗粒,显示自生特点。介于上述两者之间的较浅水(-5m水深左

右) 部位, 矿物特征较为复杂。部分颗粒改造不明显, 如电气石保留短柱晶形, 柱面纵纹清晰。钛铁矿亦呈完好板状晶形; 另一部分颗粒受到明显改造, 如电气石已呈圆柱状, 柱面特征不清。锆石呈半滚圆状, 表面常被磨蚀呈毛沙状。与岛西、南部岸段比较, 东部矿物磨损程度轻微。

三、重矿物分布与沉积环境关系分析

1. 重矿物组合及物质来源

综上所述, 该省各岸段表层沉积物所含重矿物种类比较复杂。但不同岸段总以一些含量较高、有一定成因联系的矿物相伴出现, 可视为重矿物组合。各岸段的重矿物组合大体区分为三种: 一为磁铁矿、赤铁矿、黑云母、锆石、绿帘石、透辉石等, 以陆源矿物为主的矿物组合, 种类比较复杂。主要属火成岩型矿物, 其次为变质-蚀变型矿物。见于珠江口岸段; 二是黑云母、普通角闪石、电气石、硬石膏、自然铜、黄铁矿等近源矿物和自生矿物组合, 主要分布在粤东及粤西岸段的各个港湾。这两个岸段虽有中小河流流入, 但流域范围较小, 能携带的陆源矿物较少, 搬运距离也近。波浪和潮汐作用对海岸基岩和先成沉积物的冲刷剥蚀控制了各港湾的矿物种类分布, 且因地而异。中小河流就近带入的陆源碎屑以及波浪和潮汐作用侵蚀沿岸基岩产物在近岸堆积统称近源矿物。这两个岸段大部分重矿物种类为花岗岩型矿物。只有个别海湾, 如粤东东端的柘林湾有少量变质-蚀变型矿物。另一方面, 各海湾屏蔽程度不同, 在一定物理化学条件和较低能量条件下形成各种自生矿物, 物质成分直接由海岸水体提供。因此, 可称这两个岸段的重矿物组合为近源-自生矿物组合; 再则是钛铁矿、磁铁矿、锆石、电气石、普通角闪石、绿帘石等矿物组合, 矿物种类简单, 主要分布于海南岛及珠江口外西侧海岛沿岸。这些花岗岩型矿物显然由岛屿及沿岸基岩提供, 属近源矿物组合。各种矿物组合类型及物源性质关系见表2。从表2看出, 广东省海岸带近陆和沿岸基岩性质均以花岗岩类岩石为主, 局部有蚀变岩石和混合岩。显然, 不同重矿物组合主要受物源控制。

表2 广东省海岸的重矿物组合及与物源性质的关系

Table 2 Relationship between heavy mineral associations and material sources along the coastal area of Guangdong

岸 段	重矿物组合类型	重 矿 物 种 类	母 岩 性 质
珠 江 口	陆源矿物组合	磁铁矿、赤铁矿、黑云母、 锆石、绿帘石、透辉石	黑云母花岗岩为主, 少量混合花岗岩、 第四纪松散沉积物、沉积变质岩
粤东及粤西	近源-自生矿物组合	黑云母、普通角闪石、电气 石、硬石膏、自然铜、黄铁矿	黑云母花岗岩为主, 少量混合岩、浅变 质岩、凝灰岩、第四纪松散沉积物
海南岛及珠江 口外西侧海岛	近源矿物组合	钛铁矿、磁铁矿、锆石、电 气石、普通角闪石、绿帘石	花岗岩、少量混合岩、沉积变质岩

2. 重矿物分布与沉积环境关系分析

广东省海岸重矿物的含量、种类、形态及其分布特征, 除物源外主要受沉积环境因素控制, 并可划出三种由不同沉积环境影响的重矿物分布类型。它们是(1)以河流作用影响为主的重矿物分布类型(河口型)。其沉积环境特征是能量作用比较复杂, 强度变化较大。

重矿物的搬运和沉积后的改造经历时间较长,主要受河流作用控制。潮汐和波浪对矿物沉积和改造有重要作用。河口附近水介质物理化学条件改变对矿物改造和某些组份的形成有一定影响。总的特点是随着河流远离陆地,河流、潮汐、波浪作用相互消长,重矿物含量、种类和形态特征相应发生变化。这一类型可以珠江口岸段为代表。这里重矿物含量最高处在浅水近岸水深-5m左右,垂直海岸近陆、近海两端含量较低。前者高含量的原因在于这里保持较多量的陆源物质供应,能量作用特点正是河流作用减弱,并受到潮汐和波浪作用顶托部位,既有利于重矿物聚集,也有利于对重矿物不断改造和“簸选”。这一部位也是咸淡水体混合交互部位。化学溶蚀作用亦可使重矿物圆化,并使锆石等矿物光泽暗淡。机械-化学作用还形成了这一环境特有的组份——铁质浑圆颗粒。河口型的重矿物种类虽然复杂,但以陆源矿物为主,自生矿物极少,仅个别部位出现黄铁矿。根据各岸段资料比较,河口型的重矿物含量无明显规律。珠江口岸段重矿物含量较低。其它岸段一些中、小河流出口地段,重矿物含量与河流性质及流域两岸基岩关系密切。有的高于相邻岸段(如海南岛昌化江河口、粤东韩江口),有的则明显低于相邻地段(如海南岛文昌河、文教河);(2)、以潮汐作用影响为主的重矿物分布类型(港湾型)。主要分布在各岸段港湾。通常,港湾环境有相对稳定的潮汐作用,时有陆地溪流注入。波浪作用则视海湾屏蔽程度有所不同。总的特点是能量偏低,且较稳定。这里重矿物含量较低,同一港湾,浅水部位含量较高,尤以潮间带以上近陆部位含量更高。例如,粤西岸段东段,潮间带以上近陆沉积地貌单元中,重矿物平均含量达15.20%,高于该地段港湾平均含量5倍,且矿物种类简单,多为陆源或近源矿物;而潮下带至较深水部位,重矿物含量较低,种类复杂,除陆源或近源矿物处,尚含有较多自生矿物。港湾型的自生矿物有硬石膏、黄铁矿、自然铜、锐钛矿、白钛石、菱铁矿等。粤东红海湾、粤西东段各港湾自生矿物含量最高。红海湾(含汕尾港)硬石膏最高含量达53.09%,最低0.63%,平均15.62%;菱铁矿高达15.81%。粤西东段各港湾硬石膏平均亦达12.79%。上述自生矿物反映港湾海水介质具还原—弱还原及局部蒸发条件,也是水体能量较弱的标志。在矿物形态方面,港湾型浅水部位重矿物多保留完整晶形或呈棱角状;较深水部位的重矿物则有明显搬运、改造痕迹,多呈滚圆、半滚圆状;(3)以波浪作用影响为主的重矿物分布类型(海岛型)。主要指珠江口外西侧海岛及海南岛沿岸,主要受波浪作用影响。其特征是重矿物明显高于其它两种类型,并集中在各岛屿的海湾部位。不同海湾重矿物含量变化较大,同类矿物形态差别亦大。如上所述,以磁铁矿、普通角闪石、锆石的不同特征最为明显。尤其在近岸极浅水处,矿物改造程度较深。原因除物源影响外,主要与海岛沿岸波浪作用强度有关,这与港湾型重矿物的形态特征有明显区别。

此外,介于河口型与港湾型重矿物分布类型之间较为平直的岸段,因样点分布稀少,未能显示明显规律。

四、结 论

综合上述分析看出,主要由环境因素控制的三种重矿物分布类型恰与主要由物源因素控制的三种矿物组合相对应。这就揭示了广东省海岸表层沉积物重矿物特征及分布的一般规律和主要控制因素。重矿物种类和重矿物组合分布主要受物源控制,而重矿物含量分布及外形特征变化主要受沉积环境影响。在沉积环境诸因素中,能量和水体物理化学条件影响起主导

作用。其中,河流作用对陆源矿物的搬运、潮汐和波浪作用对沿岸基岩的剥蚀及对重矿物沉积后的改造最为重要。

本文经中山大学黄玉崑教授审阅,中国地质科学院宋天锐研究员为本文提出了宝贵意见,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 朱素琳、梁百和等, 1985, 珠江口外西侧海岛沿岸表层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。
- [2] 朱素琳、梁百和等, 1983, 珠江口及邻近海岸表层沉积物重矿物的初步研究。海洋通报, 第2卷, 第1期, 第22—29页。
- [3] 梁百和等, 1988, 海南岛清澜港及邻近海域表层沉积物的沉积特征。沉积学报, 第6卷, 第1期, 第70—79页。

The Characteristics of Heavy Minerals in the Coastal Surficial Sediments of Guangdong province in Relation to Sedimentary Environments

Liang Baihe Zhu Sulin Wu Huaxin

(Department of Geology, Zhongshan University)

Key words: heavy mineral; sedimentary environment; terrigenous mineral association; near-source-authigenic mineral association

Abstract

There exist a variety of heavy minerals in coastal surficial sediments of Guangdong province, and nearly 40 sorts have been discovered in this study. Of them, the most important ones include ilmenite, hematite, magnetite, zircon, tourmaline, biotite and hornblende; next come epidote, diopside, tremolite and limonite. The authigenic minerals consist mainly of anhydrite, native copper, pyrite and siderite. These minerals are distributed along various coastal sections in different proportions and with different morphologic characteristics. An integrated study suggests that these heavy minerals are derived from source rocks with similar components, mainly granitoids and part of epimetamorphic and/or altered rocks. Nevertheless, in accordance with the differences in source materials, the heavy minerals might be grouped into terrigenous, near-source-authigenic and near-source mineral associations; in addition to the factor of material sources, it is mainly the sedimentary environments that control the contents of heavy minerals, the types, morphologic characteristics and horizontal distribution

of minerals in various coastal sections. The distribution patterns of heavy minerals controlled by different sedimentary environments might be classified into three types: (1) estuary pattern, predominated by river transportation; (2) harbor pattern, influenced chiefly by tidal sorting; and (3) island type, governed primarily by wave erosion. The three sorts of mineral associations as controlled by material sources are exactly consistent with the three distribution patterns of heavy minerals. Such a relationship has been well established for sediments of various coastal sections.

www.yskw.ac.cn