

广东(大陆部分)滨海砂矿成矿

地质条件及分布规律

广东冶金地质九三五队 阮 汀

广东大陆海岸线漫长,滨海砂矿资源丰富,大、小矿床(点)90处。本省滨海砂矿独居石、磷钇矿、锆英石、钛铁矿和金红石的储量,在全国同类型矿床中名列首位,是我国上述矿产的重要产区。六十年代以来,前人曾对本区滨海砂矿的地质特征、分布规律和找矿方法进行过总结^[1,2,3]。我队从1978年起对本区滨海砂矿进行研究。作者在上述工作的基础上,从矿床分类入手,总结矿床特征及成矿规律,研究其成矿时代,对部分矿体和含矿层作了 C^{14} 年龄测定,从而对成矿地质条件和分布规律获得了某些新的认识。

区域地质地貌背景

沿海地带出露基岩各地有别。在粤东,燕山第三、第四期花岗岩广布,地层主要是下侏罗统砂页岩和上侏罗统火山岩系;粤中地区,下古生界中侏罗统发育,加里东期混合花岗岩类普遍,燕山期花岗岩常见;粤西雷州半岛一带,大片出露第四系玄武岩,为

新生界沉积区。上述岩石中的副矿物是砂矿成矿的物质基础。据区测资料,本区第四纪以前的地层,有用矿物含量普遍很低,目前尚未发现古滨海砂矿的含矿层位,或第四纪滨海砂矿的矿源层。

本区地壳活动频繁、强烈。燕山运动奠定了区内构造活动的骨架。除雷州半岛外,燕山旋回及其以前构造运动所形成的岩石构成了区内滨海砂矿及含矿地貌、第四纪沉积的主要物质组份。晚第三纪以来的新构造运动,主要表现为继承性的地壳差异性升降、断裂断块运动和火山喷发。区域性北东(或北北东)向与东西向的断块隆起与拗陷,控制沿海山川的展布和地貌、第四系的发育,使本区内滨海砂矿在空间上具有东西分块、南北分带的特点。

沿海地形,北部群山耸峙,往南逐渐低下,延至滨岸带地势一般比较平坦,濒临南海。海岸线曲折,曲折率一般大于 4° ,港湾岬角相间,岛屿林立,具港湾海岸地貌的特点。其中珠江和韩江河口为三角洲平原海

第四纪地层表

表 1

时	代	同位素年龄(年)	地 层	厚 度 (米)	地 貌	含 矿 性
全新世 Q ₄	晚全新世	<1000	现代 海口组 烟墩组	0.5~ 1.58	海滩、沙堤、海积平原、泻湖、沙丘、河口堆积平原、礁滩	主要含矿层
		1565±130				
		2054±109~2214±156				
	中全新世	3630±190~3750±190	鹿回头组		第一级阶地、三角洲平原、玄武岩台地、岸礁	次要含矿层
		4345±210~5183±190				
	早全新世	7120±160			浅海水下阶地、水下三角洲、礁平台	未 明
晚更新世 Q ₃		14130±450~19730±1500	陆丰组 潮光岩组	10~20 140~307	第二级阶地	局部含矿
中更新世 Q ₂		(0.53±0.06~0.76 ±0.08)×10 ⁶	北海组 石鼻岭组	1~40 4~200	第三级阶地	局部含矿
早更新世 Q ₁			湛江组	1~250	第四级阶地	未见砂矿
上新世 N ₂			望港楼组	45~200	埋 藏	未见砂矿

滩、沙堤淤涨型堆积泥质或泥沙质海岸；其两侧及沿海岛屿为低山、丘陵港湾式岬角后退型磨蚀原岩海岸，阳江以西及惠来至海丰一带是广阔平缓的台地丘陵港湾式平原、沙堤淤涨稳定型磨蚀堆积沙（泥）质海岸。已知砂矿，主要赋存在后一类地貌单元中，特别是河口拦湾沙坝发育的港湾沙堤堆积地貌，对成矿和富集更为有利。

沿海第四纪地层，根据生物、气候—地层等综合标志，结合C¹⁴年龄资料，划分如表1。已知砂矿，主要赋存在全新统晚期滨海相沙质沉积物中，它一般呈灰白、灰黄或棕红色，松散状，以粒径0.1~1.0毫米的细

砂和细粉砂为主，矿石成分中石英占优势，常含长石、云母、贝壳及重砂矿物等，沉积物均一，分选性好、磨圆，为主要含矿层。

砂矿类型及地质特征

本区滨海砂矿分布很广，东起饶平的闽粤交界，西至雷州半岛南端，均可见及。从地理上看，滨海砂矿产地分布在沿海20个县（市），构成了我国仅次于海南岛的第二个滨海砂矿带。

本区砂矿按工业类型和成因—形态类型分成两类：

滨海砂矿主要工业类型特征表

表2

工业类型	工业矿物		矿床规模	工业意义
	主要的	伴生的		
独居石砂矿	独居石	磷钇矿、锆英石、金红石、钛铁矿	大型	工业价值大
磷钇矿砂矿	磷钇矿	独居石、钛铁矿、锆英石	中、小型	工业价值较大
独居石磷钇矿砂矿	独居石、磷钇矿	锆英石、钛铁矿	中、小型	工业价值较大
锆英石砂矿	锆英石	钛铁矿	中型	工业价值大
钛铁矿、金红石、锆英石砂矿	钛铁矿、金红石、锆石	独居石	中型	工业价值大
锡石砂矿	锡石	(锆英石、钛铁矿) 钨铁矿	小型	工业价值较小
褐钇铌矿砂矿	褐钇铌矿	独居石、锆英石、锡石	小型	工业价值较小
钨铁矿、锡石砂矿	钨铁矿、锡石	独居石、锆英石、钛铁矿	矿点	工业价值较小
钛铁矿砂矿	钛铁矿	锆英石	矿点	工业价值较小
黄金砂矿	黄金		矿点	工业价值较小
独居石、锆英石砂矿	独居石、锆英石	钛铁矿、金红石	矿点	工业价值较小
锆英石、钛铁矿、金红石、独居石砂矿	锆英石、钛铁矿、金红石、独居石		矿点	工业价值较小

(一) 工业类型

本区砂矿的工业类型列于表2，并具有下列特征：

1. 工业矿物种类多，具有综合利用的价值。构成本区滨海砂矿的主要工业矿物有：独居石、锆英石、磷钇矿、钛铁矿、金红石、褐钇铌矿、锡石、钨铁矿（钽钨铁矿）和黄金等10种。上述各类砂矿多伴有一种或一种以上的工业矿物，个别构成综合矿床。

2. 矿物组合因地而异，各种砂矿在分布上具有区域性。粤东以锆（锆英石）砂矿为主，粤中东部以锡（锡石）、钽钨（褐钇铌

矿、钨铁矿）砂矿为主，西部以稀土（独居石、磷钇矿）砂矿为主；粤西以钛（钛铁矿、金红石）砂矿为主。锆英石和钛铁矿在各类砂矿中分布普遍，而锡石、褐钇铌矿仅局部见及。这些分布特点，主要受基岩地质特征控制，与不同的大地构造单元性质有关。

3. 按矿物性状，可分远地砂矿和近地砂矿两类。前者工业价值较大；而后者远不如残积、冲积砂矿重要。本区独居石、锆英石、钛铁矿、金红石和磷钇矿及其综合砂矿，它们搬运距离可达数十至数百公里，属

滨海砂矿成因—形态类型表

表 8

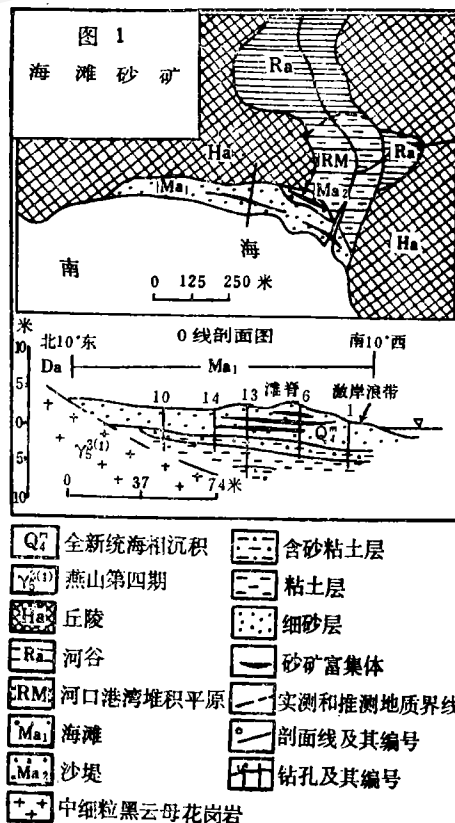
成因类型			形态类型			矿床规模	工业意义
大类	类型	亚类	大类	类型	亚类		
外生机械碎屑砂矿	海成砂矿		滨海砂矿	海滩砂矿		矿点	工业价值较小
				沙堤砂矿	毗岸沙堤砂矿	中小型	工业价值较大
					河口拦湾沙坝砂矿	大中型	工业价值大
					沙嘴砂矿	矿点	工业价值较小
					连岛沙洲砂矿	矿点	工业价值较小
	阶地砂矿	第一级阶地砂矿		中型	工业价值较大		
		第二级阶地砂矿		矿点	工业价值较小		
		第三级阶地砂矿		矿化点	工业价值较小		
	海陆混合成因砂矿	海河混合成因砂矿		海积平原砂矿		矿点	工业价值较大
				河口堆积平原砂矿	河口港湾堆积平原砂矿	大中型	工业价值大
河口海湾堆积平原砂矿(三角洲砂矿)			矿点		工业价值小		
海湖混合成因砂矿			泻湖砂矿	矿化点	工业价值小		
海风混合成因砂矿			沙丘砂矿	矿化点	工业价值小		

远地砂矿。它们主要形成在河流入海口带、滨岸带和浅海带,故有些学者把这些远地矿物称为海洋砂矿矿物^[11]。该类矿床品位高、规模大,往往形成大、中型矿床;与其他成因—形态类型砂矿相比,本省上述矿产滨海砂矿在储量和产量上均居首位,其中又以独居石砂矿为主,锆英石砂矿和钛铁矿、金红石砂矿稍次。在国内外与本类型砂矿床相似的有:世界著名的澳大利亚斯特腊德布鲁克砂矿、印度特腊范科—柯钦砂矿、美国佛罗里达砂矿^[10]和我国海南岛东海岸砂矿^[5]等。锡石、褐钨铌矿、铌铁矿(钽铌铁矿)、黄金及其综合砂矿,它们搬运距离多不足3公里,属近地砂矿。自陆至海方向主要形成风化壳残积砂矿和河谷冲积砂矿,矿体仅仅抵河流入海口带,即未构成滨海带和浅海带砂矿。滨海砂矿品位较低且变化大,规模小,常形成矿点或小型矿床,储量及产量均不及附近的残积、冲积和冰碛砂矿。

造成上述两类砂矿工业意义不同的主要原因是矿物性状有异。即前一类矿物,物理化学性质非常稳定(属库哈连科重砂矿物的最稳定级或稳定级^[12])、比重中等(4~5),由化学元素周期表中的第IV族元素(Si、Ti、Zr、Hf、Ce、Th等)组成^[11];后一类矿物稳定性不如前者(多属稳定级矿物),

比重较大(>5),多由化学元素周期表中的第I、II、V、VI等族元素组成^[10]。

(二) 成因—形态类型



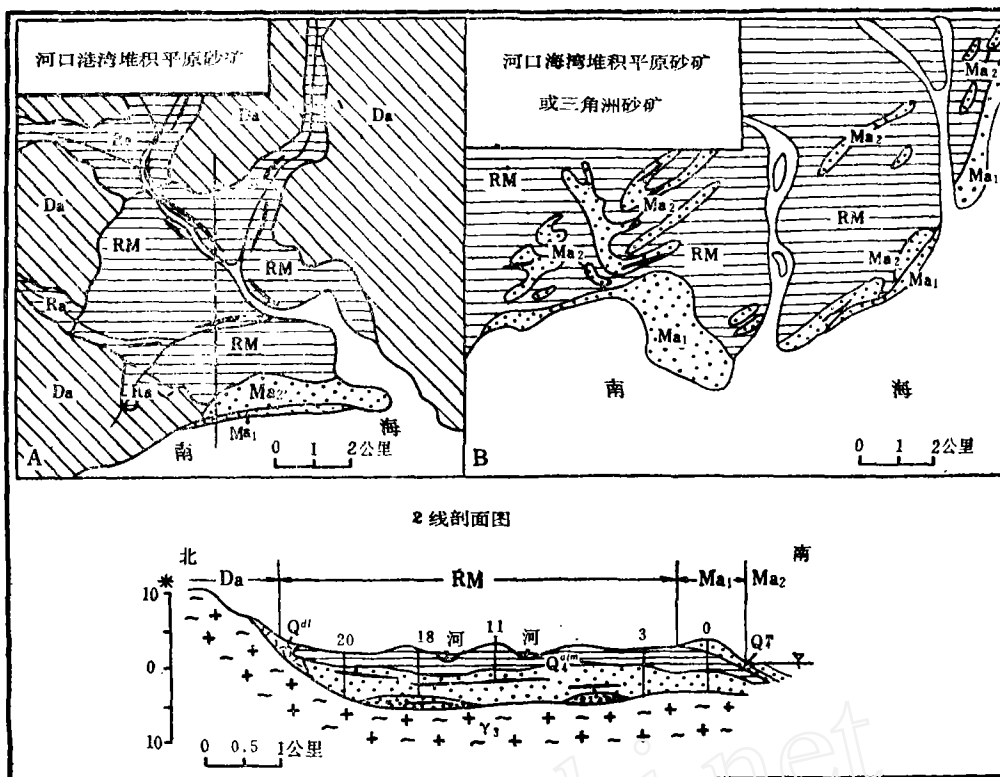


图 2 砂堤砂矿
(其他图例见图 1)

以赋存砂矿地质体的沉积物成因和地貌形态为划分依据。本区砂矿主要成因—形态类型列于表 3。

按成因可分海成砂矿和海陆混合成因砂矿两类。海成砂矿位于滨岸带，主要由远地矿物独居石、钛铁矿、金红石、锆英石及其综合砂矿组成，工业意义较大。在相应的形态类型中，就工业意义而言，以沙堤砂矿为主，特别是河口拦湾沙坝砂矿，它占本区工业砂矿床的 59%，是我省滨海砂矿最主要的类型，也是现今开采的主要对象，其次是海滩砂矿和阶地砂矿等（图 1、2、3）。

海成砂矿的特点是：

1. 含矿层或矿体平行海岸展布，形态比较规整、连续，平面上以条带状为主，剖面上以层状或似层状居多，矿体规模一般长度较大（1.0~4.5 公里）、宽度中等（50~800 米），厚度较小（1~5 米），顶、底板平坦，向海作极缓倾斜（坡度 $0^{\circ}15' \sim 0^{\circ}55'$ ），渐趋尖灭。主矿层多在上部，矿体直接出露

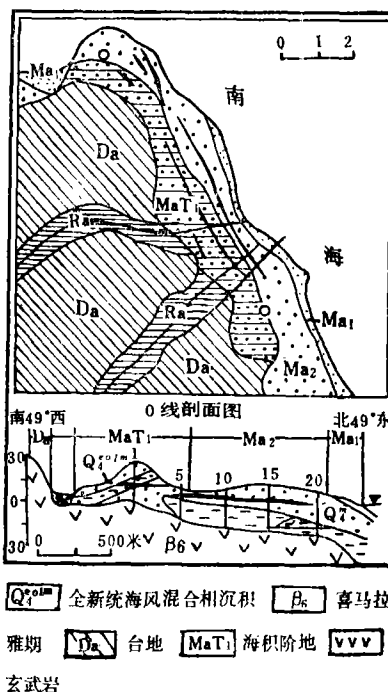


图 3 阶地砂矿
(其他图例见图 1)

地表或有薄的剥离层。

2. 矿石结构松散, 含泥率低(0~15%), 主要碎屑物为细砂(部分中细砂或细粉砂)。较残积、冲积砂矿矿石颗粒细小(粒径很少超过2.5毫米)、磨圆均一、纯净。黑、灰黑、灰黄等暗色含矿层与浅色的无矿(或微含矿)层互层产出, 构成条带状或条纹状构造。有用矿物的颗粒细小、均一。

3. 矿石成分与原岩或残积砂矿相比, 矿物种类减少, 并以氧化物和硅酸盐矿物为

主, 长石、云母和岩屑减少。石英显著增加, 有用重砂矿物进一步富集, 化学成分上, SiO_2 增加, K_2O 、 Na_2O 减少, CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 、 TFe 稍减, ZrO_2 、 P_2O_5 、 TiO_2 、 TR_2O_3 变化不大。

海陆混合成因砂矿以海河混合成因砂矿最为重要, 余者仅构成矿点或矿化点。海河混合成因砂矿, 按其形态类型, 尚可分港湾堆积平原砂矿和海湾堆积平原砂矿(即三角洲砂矿)两类(图4)。

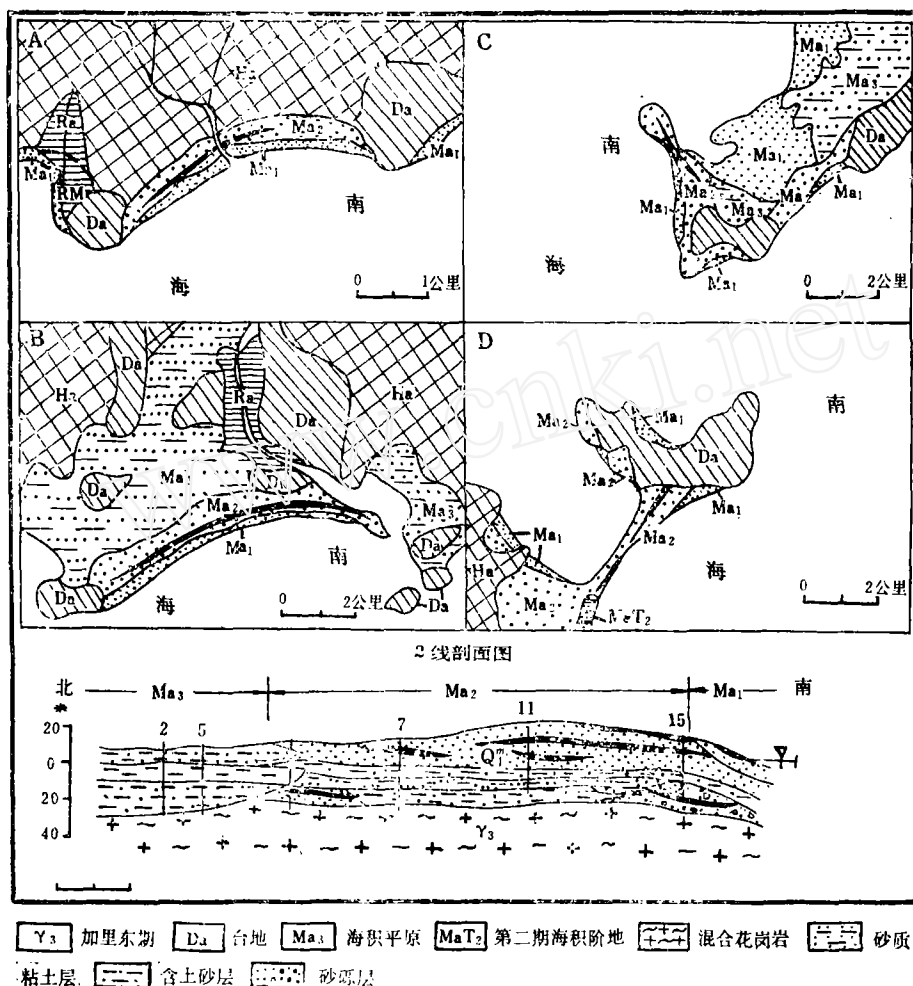


图4 河口堆积平原砂矿
(其他图例见图1)

港湾堆积平原砂矿占全区工业矿床总数的21%, 是仅次于沙堤砂矿的重要类型, 矿体平行河流展布, 常与海洋垂直或斜交, 往上有时可与河流冲积砂矿相连, 矿层以细砂、含土砂层为主, 局部乃是砂砾或含砾砂层。矿石中含泥较高, 稍粘结。矿化较分

散, 品位中等, 一般不及海成砂矿富, 剖面上以下层较富。有用矿物粒径较海成砂矿粗大。由上可知, 本类砂矿具有冲积砂矿和海成砂矿双重特征^[8], 其中港湾砂矿亚类以前者为主, 海湾砂矿亚类以后者为主。

成矿地质条件

(一) 含矿母岩

区内砂矿的成矿物质主要是陆源的,成母岩是陆上沿岸地区富含有用重砂矿物的岩浆岩、混合岩和矿脉等,它是砂矿形成的先决条件,为成矿提供有用组份。

1. 矿源: 本区滨海砂矿有用矿物的来源不外乎三种: 其一, 由陆上原岩及其次生残坡积、洪积、冲积等碎屑物汇入; 其二, 毗岸的浅海沿岸流带入; 其三, 原形成于浅海的古砂矿上逆推移到今日之滨岸地带。

对本区近陆浅海沉积物及砂矿概查得知, 海底沉积物绝大部分是陆源的, 而河流输入物(尤其是珠江河系)是海底物质的主要供给源。水下岸坡沉积物一般岸边粗, 随着远离海岸而逐渐变细, 同时, 钛、锆、稀土等有用矿物含量也逐渐降低。

说明沉积物及其重砂矿物主要是由陆向

海方向迁移, 浅海古砂矿向滨岸带的上逆不是主要的。区内海岸曲折、多港湾, 堆积地貌及其海积物多局限于港湾顶部, 泥沙垂直海岸的纵向运动不甚强烈。同时, 陆上滨岸带与水下岸坡带的重砂组合基本一致, 表明形成滨海砂矿中的有用矿物主要不是沿岸流所携入的。往往在陆上沿岸带含矿母岩附近滨海地区的海积地貌及其沉积物中形成砂矿床(点)或矿化异常。区内大部分砂矿都可以在陆上蚀源区找到相应的含矿母岩。所以本区滨海砂矿的成矿物质应以陆源为主, 沿岸流和浅海古砂矿是局部且少量的。但尚有例外, 如雷州半岛东海岸, 该地陆上所出露的基岩均为第四纪玄武岩, 而滨海砂矿在东海岸断续展布, 形成工业矿带, 而西海岸却未见矿床(点), 陆上玄武岩含独居石甚微, 而砂矿床(点)中独居石平均品位却可达118~900克/米³, 且独居石含量具自北向南渐次降低的趋势, 新寮岛水上海积平原、海滩砂矿

含矿母岩重砂矿物共生组合与滨海砂矿工业矿物种类对照表

表 4

含矿母岩重砂矿物共生组合		岩 性	滨海砂矿工业矿物	
稀有稀土矿物	其 他 矿 物		主 要 的	伴 生 的
锆英石、褐帘石、独居石、磷钇矿	磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、萤石、黄铁矿、榍石、绿帘石、金红石	燕山第四期黑云母花岗岩	锆英石	钛铁矿
独居石、磷钇矿、锆英石	钛铁矿、金红石、电气石、绿帘石、榍石、铌铁金红石、磁铁矿、石榴石、黄金	加里东期混合花岗岩	独居石	磷钇矿、锆英石、钛铁矿、金红石
锆英石、独居石	钛铁矿、金红石、磷灰石、磁铁矿、锆尖晶石、榍石	第四纪玄武岩类	钛铁矿、金红石、锆英石	独居石
锆英石、褐帘石	钛铁矿、磁铁矿、榍石、磷灰石	燕山第二、第三期黑云母花岗岩	钛铁矿	锆英石
褐钇铌矿、锆英石、独居石、磷钇矿、钽石、铌钇矿	金红石、钛铁矿、磁铁矿	燕山第三期黑云母花岗岩	褐钇铌矿	独居石、锆英石、锡石
铌铁矿、锆英石、独居石、磷钇矿、褐钇铌矿	锡石、钛铁矿、磁铁矿、电气石、石榴石、黄玉	燕山第四期黑云母花岗岩	锡石	锆英石、独居石、铌铁矿、钛铁矿
锆英石	锡石、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、电气石、钛铁矿	硫化物型锡矿	锡石	(锆英石、钛铁矿)
铌铁矿、锆英石、独居石、磷钇矿	锡石、钛铁矿、金红石、电气石、萤石、石榴石、黄玉	燕山第四期粗粒黑云母花岗岩	锡石铌铁矿	锆英石、独居石
锆英石、独居石、磷钇矿	黄金、锡石、钛铁矿、磁铁矿、锆尖晶石、黄铁矿、磷灰石、电气石	含金石英脉硅化破碎带	黄金	

(即滨上砂矿)与水下滨岸缓坡重砂异常(即滨下砂矿或水下沙堤砂矿)相连,其中的有用矿物至今尚可随季节变化而发生上(陆)、下(海)迁徙。上述砂矿分布特征足以表明,雷东一带滨海砂矿,沿岸流和浅海古砂矿的补充是非常重要的来源。

2. 含矿母岩的地质特征控制砂矿形成和规模:砂矿中的物质组分,主要决定于含矿母岩的矿物组合和含矿性。从表4看出,砂矿有用矿物组合与矿源岩石的矿物组合基本一致。作者认为,粤西的独居石、磷钇矿,主要来自加里东期混合花岗岩类,次为燕山第三期花岗岩;海、陆丰一带的锆英石,主要来源是燕山第四期花岗岩;徐闻沿海的钛铁矿、金红石,主要来自第四纪玄武岩;台山一带的褐钇铈矿,主要来自燕山第三期花岗岩;而锡石和铌铁矿,主要来自燕山第四期花岗岩。

含矿母岩有用矿物的丰度,直接影响砂矿的形成。是成矿的重要条件。作者试图采用富集成矿系数,来衡量含矿母岩的矿化强度是否达到形成工业矿床所必须的富集程度,即

$$K = \frac{C_o}{C}$$

K为富集成矿系数;

C_o为含矿母岩中的矿物品位;

C为最低工业品位。

根据本区25个矿床(点)人工重砂统计资料,求得富集成矿系数(K)0.05作为判别值。富集成矿系数大于或等于0.05才能形成砂矿;低于此系数,则成矿物质贫乏,形成砂矿的可能性较小。如本区金红石砂矿,除徐闻一地玄武岩中金红石较富, $K = 0.20 \sim 0.32$ 业已构成中型矿床。而沿海其余各地,基岩中所含金红石一般均未超过5克/吨,即 $K = 0.0025$, 这可能是我省沿海金红石砂矿分布较少的重要原因。

含矿母岩中的有用矿物,在矿化强度达到或超过富集成矿系数的前提下,与成矿有关的岩体分布范围越广,出露面积越大,所含有用矿物分布越均匀和水流切割密度越大,对成矿就越有利。粤中西部的独居石、磷铈矿砂矿,粤东的锆英石砂矿和粤西雷州半岛的钛铁矿、金红石砂矿等,虽然含矿岩体的矿化强度中等或较低,富集成矿系数仅为0.06~0.30,但它们的矿产地众多,矿床

规模较大,常构成大、中型矿床,主要与母岩分布广,出露面积大(超过100平方公里),呈岩基(部分岩株)状产出,有用矿物呈副矿物均匀分布有关。粤中东部的锡石砂矿、褐钇铈砂矿和铌铁矿砂矿等,含矿花岗岩的矿化强度中等或较高,富集成矿系数一般为0.10~0.86,有用矿物也呈副矿物均匀分布,然而上述岩体的出露面积仅几到几十平方公里,呈岩株或岩瘤(岩枝)状产出,仅构成矿点或小型矿床。海、陆丰一带的滨海砂锡矿,含矿母岩为原生硫化物型锡矿脉,部分矿石品位可达到或超过原生锡矿的工业品位,富集成矿系数为0.75~3.35。但终因呈脉状产出,脉体过小,条数不多,矿化总面积有限,不能构成砂矿床。

(二) 内外营力是有用矿物富集成矿的重要条件

1. 构造

不同的大地构造性质,确定了不同工业类型砂矿的分布,区域大地构造环境决定着砂矿成矿区域性的特征。不同地质时期的隆起与拗陷,其地质发展历史迥然不同,所分布的含矿母岩不一,使砂矿的工业类型各具特色,如本省大陆沿海所划出的粤东燕山断褶带,粤中海西褶皱拗陷带,粤西加里东褶皱隆起带和雷琼喜马拉雅沉降带等四个大地构造单元,分别形成了本区锆英石砂矿,锡石、褐钇铈矿、铌铁矿砂矿,独居石、磷铈矿砂矿和钛铁矿、金红石砂矿等四个工业类型。

晚第三纪以来的新构造运动,对砂矿形成和分布影响明显,升降运动及其幅度控制了有用矿物的富集和分散,在大面积间歇性缓慢隆起,挽近趋于稳定或微上升地区,对成矿有利。而长期沉降或迅速抬升,则对成矿不利。同一地区,新构造的差异性运动对砂矿形成影响不同。如雷州半岛,滨海砂矿东海岸丰富,西海岸贫乏;而浅海砂矿则相反。造成上述砂矿东西分野的重要原因,可能与雷东隆起和雷西沉降的差异性运动⁷⁾有关。

2. 气候

广东沿海属热带、亚热带气候。年平均气温21°~26℃,年降雨量为1000~2500毫米,年相对湿度75~85%。这样炎热潮湿的气候,化学风化作用发育,风化壳厚度一般10~20米。岩石风化疏松,使有用矿物大都

被解脱成单体。同时,沿海一带台风频繁,暴雨甚多,地面冲刷强烈。这样有利的气候条件,是广东较其他省砂矿资源丰富的重要因素。区内风化壳厚度,粤西较粤东大,也是造成前者的滨海砂矿比后者丰富的原因之一。

3. 河流

河流是含矿母岩中有用矿物搬运入海的重要渠道。当入海河流流经含矿母岩,并切割密度较大时,一般在滨岸带都可形成砂矿。但河流规模不同,对成矿的影响也不一样。以粤西为例,大河(长度超过100公里)或小河(长度小于5公里)不利于成矿,而中等规模(长度10~30公里)的河流对成矿有利。后者如上洋河、麻岗河、马店河、大桥河等,分别形成了大、中型矿床。

河口地段是成矿有利的环境,区内工业意义大的河口拦湾沙坝砂矿和河口港湾堆积平原砂矿,都分布在该处。

4. 海水运动

海水作用是滨海砂矿形成的重要营力,其主要作用有:海浪、潮流和沿岸流的海水流动以及海面升降变化等。

(1) 海浪

海浪是海水运动的最主要动力,它是风吹掠海面所引起的。本区位于季风带上,5~8月西南季风盛行,平均风力4级;10月至次年3月以东北季风居多,平均风力4~5级,其中12月至1月风力最强,平均可达5级。夏季海浪方向基本与风向一致,波高与风力成正比。滨岸地带外侧浅海,一般冬季波高4米,夏季2.5米,台风时海面常出现波长100~200米的涌浪。海浪向岸传播至近岸带,形成激岸浪。后者浪力比波浪大数十倍,是海岸塑造和演化的最强大营力。区内季节风的变化所引起的风浪差别,对海岸发育也产生不同的影响。如高栏岛南岸现代海滩,冬季东北风盛行,海浪将泥沙向海迁移,使海滩退缩;夏季以西南风为主,海浪将泥沙向陆推移,使海滩淤涨。此外,大风暴后,海浪往往携带大量重砂矿物在海滩堆积。

基岩岬角顶部,波能幅聚,形成强烈磨蚀的海蚀带。而上述海蚀作用所产生的碎屑物和河流携带入海泥沙等,易在波能分散的海湾或港湾中堆积。沙质缓波海岸,在上述海浪作用下,垂直海岸作纵向运动的泥沙,

向上推移形成沙堤(最初为水下沙堤,后出露海面,形成水上沙堤),并常在沙堤后方(指陆地方向)构成泻湖。同时,平行海岸作纵向运动的泥沙,向波浪作用方向一侧搬运堆积,形成一系列海积地貌,如充填海岸的海滩、毗岸沙堤,一端与海岸连接,另一端向海自由增长移动的沙咀,把陆地与岛屿相连的连岛沙洲等。由于在纵向或横向的搬运过程中,海浪对沉积物及其有用矿物都有良好的分选作用,故上述作用下所形成的海滩、沙堤等海积地貌单元对成矿较为有利。

(2) 潮流

潮流一方面加强了波浪对海岸的影响,另一方面本身(沿海一带主要为半日潮流,流速三节左右)对海岸塑造也有重要作用。在低平的沙质海岸,海滩涨潮冲刷,落潮堆积,当潮差大时,退潮速明显地低于涨潮速,堆积作用显著,海滩进一步发育。此外,河口、港湾和海峡出口等地形有利部分,潮流速度较大,对沉积物有明显的搬运分选作用,利于成矿,如湛江港水道及琼州海峡所形成的水下砂矿。

(3) 沿岸流

本省近陆浅海沿岸流,表层水流为北东(北北东)向岸流,流速冬季(2月)0.3~0.5海里/时,夏季(8月)0.3海里/时,沿岸地带滨海与浅海现代沉积物特征及有用矿物分布富集,与上述岸流关系至为密切。

粤东汕头至澄海沿岸一带,受北东向逆流或漂流的作用,使韩江所携带的泥沙和有用矿物被海流、海浪和增水顶托,不能随沿岸流疏散,大量堆积在口外,形成三角洲前缘巨大的多列平行沙堤,局部尚可形成表外工业矿体(图4B)。珠江口外,珠江迳流与北东向沿岸流汇合,并顺沿岸流而下,使珠江输入海的粉砂、粘土堆积了东莞至台山整个沿岸地带。阳江至吴川一带,常年仍以北东向沿岸流为主,由于珠江输出物影响减弱,甚至消失,沿岸陆地碎屑物及有用矿物大量进入海域,形成了该区长达百余公里的独居石、磷钇矿滨海—浅海砂矿带。在广州湾至雷州湾,沿岸流逆时针方向绕海岸而行,至雷东沿岸转为由北向南的海流,由于岸流所携带的独居石等矿物边搬运、边堆积,致使其含量向南渐减。

(4) 海面垂直升降变化

早、中更新世，雷州半岛全区断块沉陷，产生了大规模的地动型海侵，形成了湛江组（ Q_1 ）和北海组（ Q_2 ）滨海相或三角洲相沉积，后者局部含矿较富，构成第三级阶地砂矿。

晚更新世早、中期，红海湾和碣石湾一带局部下沉，有小规模的地动型海侵，范围不超过现代海岸向陆方向1公里左右。堆积了陆丰组滨海相“老红砂”。该组含矿普遍，局部可达到工业要求，构成第二级阶地砂矿。

本区海拔3~8米的第一级阶地砂矿为冰后期高海面时期形成。在5000年来海面的下降与波动，分别形成了现今滨岸带附近的各种砂矿床。初步推算，河口堆积平原底部的砂矿可能形成于距今4700~3000年，属中全新世中、晚期；沙堤砂矿、海积平原砂矿等可能形成于距今2500~1200年，属晚全新世早、中期；而海滩砂矿距今不足1000年。

综上所述，在地质时期海面垂直升降的背景下，上述海水运动的诸要素共同参与了成矿作用，往往在海水最活跃、最剧烈的海积地貌发育地段，如河口、激岸浪带，沉积物分选性较好，对成矿有利；而海水作用微弱的泻湖，则含矿差。

（三）地貌和第四纪沉积

地貌和第四纪沉积提供堆积环境和赋存场所，是砂矿形成、富集的重要条件。

1. 地貌

成矿有利的地貌类型是，丘陵、台地港湾式磨蚀堆积淤涨—稳定型沙质海岸，而平

原海湾式堆积淤涨型泥质海岸和山地港湾式磨蚀后退型原岩海岸成矿不利。不同的地貌单元，砂矿的形成和富集也不相同。剥蚀—磨蚀地貌无砂矿分布，但部分可为砂矿形成提供矿源。而各种海积地貌一般都含有或多或少的有用矿物，其中成矿有利的地貌单元，首推沙堤，其次是河口堆积平原，再次是海滩和阶地，而海积平原、泻湖和沙丘最差。成矿作用又受次一级地貌单元的制约，就沙堤而言，以河口拦湾沙坝最著，沙咀和毗岸沙堤居次，连岛沙洲最差。在同一个地貌单元中，砂矿形成在一定的地貌部位，如沙堤，多在中部靠海一侧。海岸的弯曲形态和海湾的大小对成矿也具一定影响。平直岸不及弯曲岸有利，而后者又不能过于曲折，一般以海湾的长宽比0.1~0.5者有利。同时，区内砂矿床（点）绝大部分集中在宽3~20公里的港湾中。

2. 第四纪沉积

第四纪沉积对成矿的控制作用，主要表现在地层时代、岩性和岩相等方面。砂矿主要成矿期是全新世，特别是该世的中、晚期；其次是中、晚更新世。它们的分布受上述不同时代的地层控制。砂矿主要赋存在滨海相，次为三角洲相的砂层中。

砂矿分布规律

1. 平面上，沿海岸线方向砂矿呈条带状分段富集，断续展布，分带明显，构成成矿带、成矿亚带、矿田（矿带）、矿床和矿体

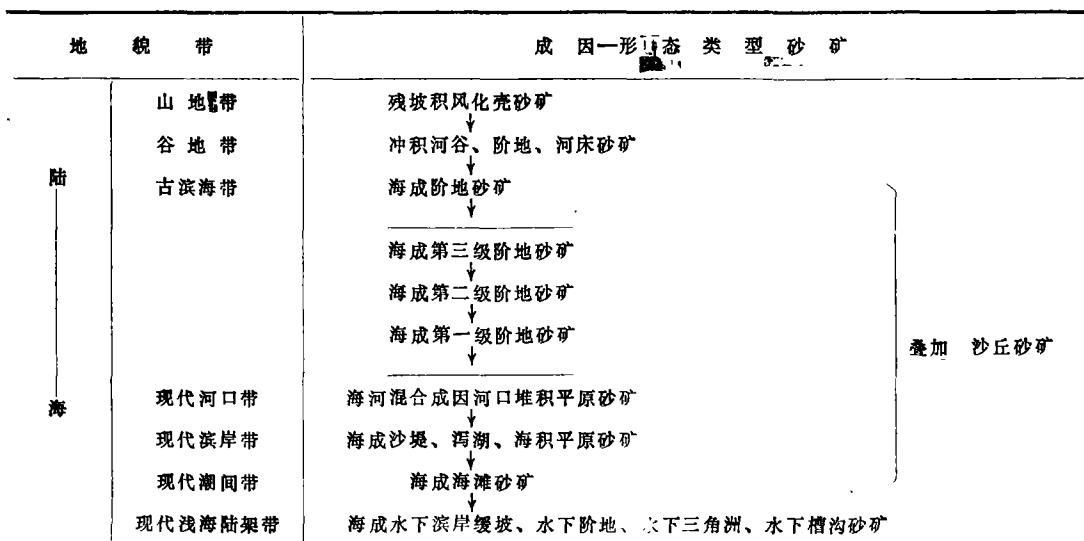


图5 自陆至海各地貌带不同成因—形态砂矿带状演化图

等，垂直海岸方向，自陆至海呈带状演化（图5）。在剖面上，呈层状或似层状产出，形成含矿层或矿层等。

2.砂矿的分布受地质构造、地貌和第四纪沉积等因素控制，在不同的范围内，它们主次不一、作用各异。大地构造主要控制砂矿的工业类型，形成了不同的成矿带；构造（指大地构造和新构造）和地貌主要控制砂矿的工业类型和成因—形态类型，形成了不同的成矿带和矿田；地貌和第四纪沉积主要控制砂矿的成因—形态类型和亚类，形成了

不同的矿床和矿体，第四纪沉积主要控制含矿层时代、岩性和岩相，形成了不同矿层。

3.砂矿主要分布在长期间歇性缓慢隆起，挽近趋于稳定或微上升地区的沙质海岸上，并常伴有一条长10~30公里、流经含矿母岩的河流（多位于港湾北东方向）。在河流注入宽3~20公里、长宽比0.1~0.5的港湾中，其内侧河口堆积平原和外侧的河口拦湾沙坝是砂矿堆积的良好场所。

本区砂矿成矿模式如图6，富集体产出部位见表7。

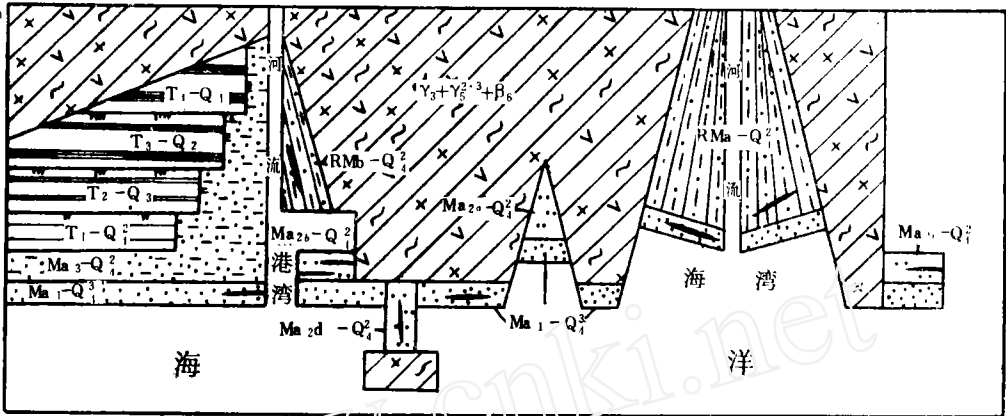


图6 广东省（大陆部分）滨海砂矿成矿模式图

Q₄³—全新世晚期，Q₄²—全新世中期，Q₃—晚更新世，Q₂—中更新世，Q₁—早更新世，β₂—喜马拉雅期玄武岩（矿源层），γ₂²⁺³—燕山期花岗岩（矿源层），γ₂—加里东期混合岩（矿源层），T₄—第四级阶地，T₃—第三级阶地，T₂—第二级阶地，T₁—第一级阶地，RMa—河口海湾堆积平原（三角洲），RMb—河口港湾堆积平原，Ma₁—海滩，Ma_{2a}—沙堤（毗岸沙堤），Ma_{2b}—沙堤（河口拦湾沙堤），Ma_{2c}—沙堤（沙咀），Ma_{2d}—沙堤（连岛沙洲），Ma₃—海积平原（其他图例见图1）

各类滨海砂矿富集体产出部位表

表7

砂矿形态类型		平面上		剖面上
类型	亚类	沿海岸线方向	垂直海岸线方向	
海滩砂矿		海滩中部特别在河口附近	激岸浪带滩脊附近	表层上部
砂堤砂矿	毗岸沙堤砂矿 河口拦湾沙堤砂矿 沙咀砂矿 连岛沙洲砂矿	沙堤中部 沙坝中部靠河口侧 沙咀根部向头部变贫 沙洲根部向中部变贫	靠海侧 靠海侧 中部 中部	表层上部 表层上部 中、上部 中、上部
海积平原砂矿		一般在中部部分不定	中部	中、下部
河口堆积平原砂矿	河口港湾堆积平原砂矿 河口海湾堆积平原砂矿 (三角洲砂矿)	中部近河两侧 中部近支流两侧	河谷与海湾交接处 靠海侧	上部 上部
沙丘砂矿		不定	不定	不定
泻湖砂矿		不定	不定	不定
阶地砂矿	第一级阶地砂矿	中部	中部及前缘	中、上部

4.第四纪海相沉积普遍含有用矿物。图7可以看出,各种工业砂矿的形成时代基本一致。其中以中、晚全新世成矿期为主,沙堤砂矿的形成时代,在海南烟墩钛矿C¹⁴年

龄为2214±156~2054±109年,属晚全新世早期^{[9]**}。晚更新世成矿期次之,第二级阶地砂矿形成时代,作者在甲子锆矿采样C¹⁴年龄为16450±235年,属晚更新世晚

	早更新世	中更新世	晚更新世	全新世		
				早期	中期	晚期
锆英石砂矿					1	1
独居石磷钇矿砂矿					1	1
钛铁矿金红石砂矿					1	1
锡石砂矿					1	1
褐钇铈矿砂矿					1	1
铌铁矿砂矿					1	1
黄金砂矿					1	1

1 2 3 4

图7 第四纪不同时期与砂矿成矿关系示意图

1—工业意义大; 2—工业意义较大; 3—工业意义较小; 4—工业意义小。

期。中更新世成矿期仅局部矿化。

成矿带、找矿方向和远景区

本区滨海砂矿位于我国东南沿海钛、锆、稀土砂矿Ⅰ级成矿带*的南端。尚可进一步划分3个Ⅱ级成矿带、4个Ⅲ级成矿亚带和9个Ⅳ级矿田,其中以粤中稀土砂矿成矿带(Ⅱ₂)阳江至吴川丘陵台地港湾式海岸独居石、磷钇矿砂矿成矿亚带(Ⅲ₃)阳江至电白海成沙堤及海河混合成因河口堆积平原独居石砂矿田(Ⅳ₆)工业意义最大。

找矿方向:根据砂矿分布规律,可在粤中找独居石和磷钇矿,粤东找锆英石,粤西找金红石和钛铁矿等,在矿床成因—形态类型上,应继续在各丘陵台地磨蚀堆积港湾中寻找本区工业价值最大的海成沙堤砂矿,特别是河口拦湾沙坝砂矿,以及海河混合成因河口港湾堆积平原砂矿,注意寻找阶地砂矿、海积平原砂矿和埋藏砂矿,海滩砂矿是今后找矿的方向,可在现有矿山向海延伸0~20米的岸坡带优先普查。

主要参考文献

- (1) 许寄任, 地质与勘探, 1960, 第5期
- (2) 成国栋等, 海洋与湖泊, 1962, 第4卷, 第1—2期
- (3) 严庸初, 广东地质科技, 1980, 第4期
- (4) 长春地质学院矿床教研室, 矿床工业类型(上册), 中国工业出版社, 1961
- (5) 地质科学研究院地质矿产研究所, 中国稀有金属矿床类型, 地质出版社, 1975
- (6) 中国科学院两广队海南小组, 1959年全国稀有元素地质专业会议论文集, 第3集, 科学出版社, 1961
- (7) 中国科学院南海海洋研究所海洋地质研究室, 华南沿海第四纪地质, 科学出版社, 1978
- (8) 赵希涛等, 海洋学报, 1980, 第2期
- (9) 赵希涛等, 地质科学, 1979, 第4期
- (10) Аксенов, А.А., ИДР.Геология российских, М, Изд.Наука, 1965
- (11) Тихомиров, С.В., Геология и разведка, 1974, №1, СТР.6—51
- (12) Кухаренко, А.А., Минералогия российских, М, Госгеолтехдат, 1961

*赵希涛同志面告, 样品采自烟墩钛矿西侧海积平原滨海相砂层中, 与构成矿体的砂层时代大致相当。

**广东省地质局, 1978, 广东稀土稀有金属成矿作用及找矿方向。