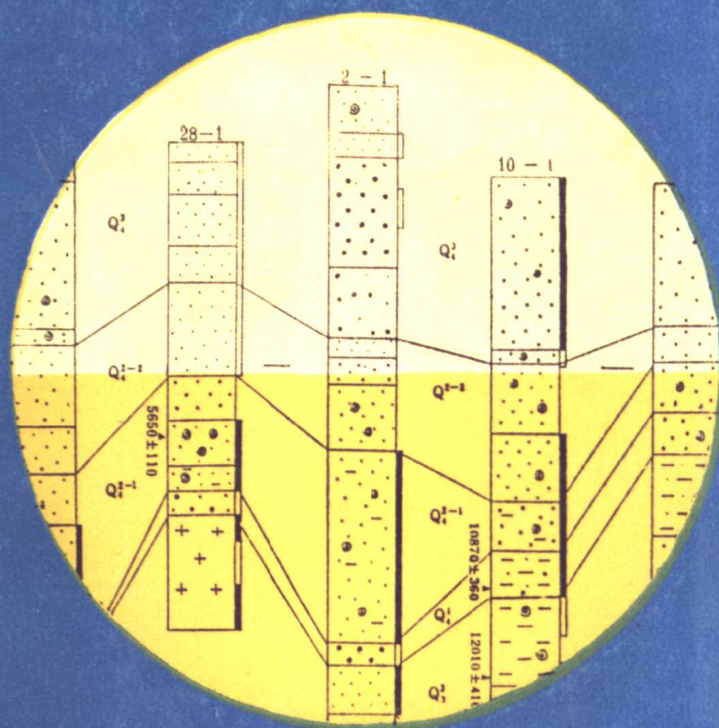


华南第四纪 滨海砂矿

张仲英 陈华堂 刘瑞华 黄少辉 著



地质出版社

华南第四纪滨海砂矿

张仲英 陈华堂 刘瑞华 黄少辉 著

地质出版社

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本书根据华南滨海地区大量的第四纪地质和砂矿普查新资料,从地貌学和第四纪地质学观点出发,系统地论述了砂矿的成矿母岩、风化过程、搬运的水动力条件、分布富集全过程。对我国砂矿最集中的华南地区滨海砂矿分布富集规律提出了不少新观点,如从第四系沉积韵律和沉积相特征划分出富矿地层和贫矿地层;晚更新世以来两次高海平面时期为两次成矿主要时期;砂堤砂矿“西富东贫”的分布规律;富矿的地貌标志等。这些新观点既有理论意义,又有找矿实际意义。

本书可作为地貌学、第四纪地质学、地质学、海洋地质学等专业人员及大专院校师生参考。

华南第四纪滨海砂矿

张仲英 陈华堂 刘瑞华 黄少辉 著

责任编辑:蔡卫东

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路 29 号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 8.25 字数: 195000

1992年11月北京第一版·1992年11月北京第一次印刷

印数: 1—700 国内定价: 5.70元

ISBN 7-116-01167-6/P·986

序 言

地貌学研究对找矿有很大作用，尤以滨海砂矿更为突出。由广州地理研究所张仲英等同志编写的“华南第四纪滨海砂矿”一书，即为砂矿地貌专著。作者主要从第四纪地质及地貌学进行论述；另由青岛海洋地质研究所编写的“中国滨海砂矿”一书，多从地质学观点出发，同为我国砂矿专著。二者各有特点，南北辉映，反映我国地学界的兴旺。

作者从大量第一手资料中，总结出砂矿成因和时空分布规律，提出全新的观点，对砂矿地貌学内容的充实和提高，富有理论性创建；对今后开发和寻找砂矿，也提供了依据。

砂矿的形成、分布和富集，主要与地貌学过程有关，即侵蚀、剥蚀，搬运和堆积的过程。它发生在第四纪地质时期，因此，要开采砂矿必须首先研究地貌学与第四纪地质学。世界上砂矿多产于热带地区，如印度及东南亚等地区。热带风化作用强烈，故对砂矿的富集，影响甚大。我国滨海砂矿，以南海沿岸较为集中。余拜读全书，认为下列几条，至足钦佩。

1. 从沉积韵律和沉积相特征划分富矿地层和贫矿地层组，卓有见地。
2. 从海平面变化指出两次高海平面时期为两次成矿主要时期，论证详确。
3. 从火山岩测年资料及风化壳发育，分出六个喷发期及其对成矿的影响，论证合理。
4. 从地貌类型指出砂矿在砂堤中富集，尤以高砂堤为富，论点鲜明，并具实际找矿意义。
5. 指出拦湾砂堤、邻岸砂堤砂矿分布是“西富东贫”，加之以海洋水动力学解释，论证详确，亦具实际找矿意义。

凡此论点，足见作者多年的研究，取得创新性成绩，在国内不多见。从研究资料之充实，研究技术之先进，基础理论之突破，生产实践之价值，可称为国内先进水平。相信，在国际上亦会产生重大影响。

曾昭璇

一九九一年八月

目 录

第一章 绪论	1
一、华南滨海砂矿在我国滨海砂矿中的特殊地位	1
二、华南第四纪地质——研究滨海砂矿成矿规律的基础	1
三、内容概述	2
第二章 滨海砂矿成矿的地质背景	6
一、华南沿海区域地质	6
二、母岩对砂矿成矿的控制	11
第三章 第四纪沉积特征对成矿的影响	17
一、华南沿海第四纪地层及其含矿性	17
二、华南海平面变化及其对成矿的影响	29
三、第四纪火山岩及其对滨海砂矿的成矿意义	39
第四章 滨海砂矿成矿的水动力条件	51
一、河流输沙的水动力条件	51
二、河口水动力	53
三、海洋水动力	55
第五章 海岸地貌类型及其对成矿的影响	61
一、海岸地貌特征与地貌类型	61
二、砂堤形成发育规律	71
三、海岸地貌与滨海砂矿的关系	73
第六章 华南滨海砂矿的富集规律	76
一、沉积相与含矿层	76
二、富矿的地貌标志	90
三、砂堤砂矿的空间分布规律	95
第七章 华南第四纪滨海砂矿的类型与分区	98
一、粤西漠阳江三角洲西缘至鉴江口磷钇矿、独居石、锆英石滨海砂矿区	98
二、雷州半岛和海南岛东岸北部金红石、钛铁矿、锆英石滨海砂矿区	107
三、华南锆英石滨海砂矿	114
四、近源比重大的重砂矿	117
第八章 华南第四纪浅海砂矿的前景预测	120
一、与国外滨海砂矿和浅海区砂矿的对比	120
二、华南浅海区的调查概况	123
参考文献	127

第一章 绪 论

一、华南滨海砂矿在我国滨海砂矿中的特殊地位

华南滨海砂矿蕴藏着丰富的矿物资源,主要有钛铁矿、金红石、磷钇矿、独居石、锆英石、锡石、铌钽铁矿、铬铁矿、砂金等。它们多是稀有元素和贵重金属,是我国四个现代化建设中不可缺少的矿产资源,用途极其广泛。钛铁矿用于制造钛合金、钛白粉、人造金红石和电焊条等;金红石是钛铁矿的一种,含钛量比钛铁矿高40—60%,故又称高钛矿。磷钇矿用于制造耐火、耐热合金、电弧电极、紫外光灯及工业用发光剂;独居石用于制造特殊合金、打火石、烟火、防辐射玻璃及陶瓷、电气照明点火装置和白热炭精,其中所含钍是原子能的重要能源之一,还可炼制优质合金、制作接触剂、 $\times$ 射线管电极和化学指示剂等;锆英石主要用于耐火材料、陶瓷、显像管玻璃制造,亦可用于制造合金。

滨海砂矿由于矿层稳定,储藏量大,易于开采等特点是其他类型如冲积、洪积、残积、冰积砂矿所难以相比的,据报导^[1],世界锆英石的储量3175.2万吨,96%为滨海砂矿;金红石的储量9435万吨(钛含量),98%为滨海砂矿;钛铁矿的总储量2.46亿吨(钛金属),砂矿占其一半。从滨海砂矿开采量所占的国外总产量的比率而言,钛铁矿占30%,独居石占80%,金红石占98%,锆英石占90%,锡石占70%等。从上述列举的数字,可看到滨海砂矿在砂矿的重要地位,也可看到其在矿产资源的特殊意义。

华南沿海的海岸线漫长而曲折,广东(长3741km)和广西(728km)的大陆部分海岸线长达4469km,约占我国大陆海岸线总长度的四分之一,我国第二大岛海南岛海岸线的长度为1811km,比我国第一大岛台湾岛还长。华南滨海砂矿的成矿条件是优越的,除了成矿母岩的变质岩和岩浆岩构成的北东向褶皱带构造逼近海岸,为成矿提供了先决地质条件以外,主要是华南地区的气候高温多雨,年平均气温介于21—23℃之间,年降水量1500—2000mm,属热带、南亚热带的季风气候。在这样的气候条件下,华南地区的成矿母岩红色风化壳发育深厚,燕山期花岗岩风化壳的厚度为30—50m,最大厚度超过80m^[2];寒武纪形成的混合岩和加里东期的混合岩化花岗岩的风化壳厚度平均为16m,最大厚度达51m;第四纪早期的火山岩基本全风化,仅红土层的最大厚度可达76m。从而为华南滨海砂矿提供了丰富的矿源。因此,华南地区的滨海砂矿形成条件在我国是得天独厚的。据谭启新等(1988)的统计资料,现已查明我国不同矿种的滨海砂矿床139个,华南为121个,占87%;全国的磷钇矿、独居石砂矿集中于粤西沿海;钛铁矿、金红石砂矿集中于海南岛和雷州半岛,海南岛东部沿海的钛铁矿在我国占有绝对优势;锆英石遍布华南滨海地区,为此华南滨海砂矿在我国有着举足轻重的地位。

二、华南第四纪地质——研究滨海砂矿成矿规律的基础

自1978年以来,广州地理研究所的地貌研究室改名为地貌第四纪研究室,从此把华

南的第四纪地质研究作为研究重点, 1980 年以来先后承担了广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室下达的珠江三角洲段、粤东段、粤西段和海南岛段的第四纪地质的调查任务, 在完成任务的基础上, 写出了一系列华南沿海第四纪地质专著, 如《珠江三角洲形成、发育、演变》、《深圳地貌》、《韩江三角洲》、《广州地区第四纪地质》等及数量众多的论文, 对华南沿海第四纪地层的划分、气候的变迁、新构造运动、距今 4 万年以来的海平面变化等一系列重大问题, 均从实际资料出发, 提出了很多新的见解, 取得了新的进展, 并积累了一大批资料。如何运用已取得的成果和积累的资料解决生产实践问题, 发挥理论对实践的指导作用, 为经济建设服务是当务之急。

华南滨海地区蕴藏着丰富的砂矿资源, 均赋存于第四纪地层之中, 滨海砂矿的形成、演变、富集规律实质上是第四纪地质的演变过程, 因而称之为第四纪滨海砂矿, 第四纪地质研究与经济建设急需的滨海砂矿分布、富集规律紧密结合意义重大。自 1987 年以来, 广东省冶金勘探公司聘请笔者为该公司所属的 935 地质队粤西滨海砂矿项目的地貌第四纪地质的学术指导, 参与了该项目的地貌第四纪地质调查提纲的制订、野外调查、资料分析、报告编写、成果验收等工作, 在长达四年的工作过程中, 我们向 935 地质队提供了华南沿海第四纪的研究成果, 该项目取得了大量的砂矿勘探资料、分析数据, 丰富和加深了我们的认识, 华南滨海砂矿的分布富集规律离不开第四纪地质的发育演变过程, 反之, 滨海砂矿的分布、富集规律的研究, 又提出了第四纪必须研究的新问题, 两者是相辅相成互相促进的。

三、内 容 概 述

本书的重点放在第四纪滨海砂矿的分布、富集规律上, 分布、富集规律主要抓住时间和空间两方面, 主要内容如下:

1. 地质基础是滨海砂矿形成的先决条件。华南的主要含矿母岩为古老的混合岩、混合岩化花岗岩, 燕山期花岗岩, 第四系火山岩不但出露分布面积广, 而且含矿品位高。粤西的寒武系八村群混合岩大面积出露于滨海地区, 并埋藏于海底, 其不少风化壳所含磷钇矿、独居石品位已达到工业品位; 海南岛中南部的五指山加里东—华力西期混合花岗岩体, 出露地表面积 2700 km^2 , 含锆英石品位达 125.4 g/t 、含钛铁矿为 402 g/t , 山前地带的洪积、冲积砂矿类型很发育, 为我国大型的锆英石、钛铁矿洪积、冲积砂矿类型。故华南滨海砂矿的地质先决条件是优越的。

地质构造以北东向为主与海岸线呈夹角相交局部与海岸线平行, 北东向的断裂带控制了华南地貌呈岭谷相间分布的特征, 延伸至滨海则为湾岬相间的海岸地貌特征。岭丘发育深厚的风化壳, 以剥蚀作用为主; 谷地则为第四纪松散沉积物堆积场所及滨海砂矿物质的输送渠道。海岸带则有海岬受磨蚀, 海湾堆积。地质条件总的控制了滨海砂矿的分布。

2. 分析了第四纪沉积对华南滨海砂矿成矿的影响。根据沉积相和沉积韵律、贝壳和微体化石(有孔虫、介形虫、硅藻)鉴定, 孢粉分析和大量的测年数据(^{14}C 法、热释光法、钾-氩法、古地磁法)把华南第四纪地层划分为 11 个地层组。又根据地层组的沉积特征和砂矿种类及品位对应关系确定各地层组的含矿意义。滨海砂矿赋存于滨海相地层中, 浅海相和陆相地层含矿相对贫乏。比较了 11 个地层中, 只有距今 4 万年以来的锦和组

(Q_2^1)、陆丰组 (Q_2^2)、阳江组 (Q_2^3)、南山海组 (Q_2^{4-1})、琼山组 (Q_2^{4-2})、广海组 (Q_2^5) 才有含矿意义, 在这个地层组中, 锦和组、陆丰组、南山海组含矿最富, 广海组较富, 阳江组和琼山组含矿贫乏。各组地层的含矿性还因矿源、水动力条件、沉积时的古地貌特征的不同而有较大区别。早、中更新世时期沉积的湛江组上、下段、北海组、田洋组上、下段属浅海、陆相和火山口湖的湖泊相沉积, 都非滨海相的沉积环境, 对华南滨海成矿影响甚微, 局部地段的沉积, 后被侵蚀、切割, 只可作滨海砂矿的矿源层之一。

3. 华南滨海地带随着各时期的海平面升降而频繁变化, 晚更新世以来的海平面变化对成矿影响尤为重要, 华南地区的滨海砂矿主要富集于粤西、海南岛沿岸。为此, 我们选出了 11 类可代表古海面标志物的 73 个测年数据, 又根据近期重复大地水准测量确定不同地区的地壳升降值, 排除构造因素对海平面变化的影响, 建立了粤西、海南距今 38450 年以来的海平面变化曲线, 从曲线看到距今 26000 年、5530 年分别为晚更新世和全新世中期的两次高海平面时期。两次高海平面时期分别为两个主要成矿期, 前者沉积了锦和组, 后者沉积了南山海组, 为华南滨海地区的富矿层。

4. 雷州半岛和海南岛北部广泛分布第四纪火山岩, 出露面积 7859.7 km², 它是琼雷东部滨海地区金红石、钛铁矿砂矿的主要含矿母岩, 也是锆英石含矿母岩之一。母岩对砂矿提供的多寡取决于风化壳的发育阶段和厚度, 它又是风化阶段最高和风化速度最快的母岩, 为此我们通过较多的第四纪火山岩风化壳剖面的硅酸盐分析得出的铁化系数、铝化系数、硅化系数的对比, 与火山岩上下地层的接触关系, 火山岩的钾-氩法年龄测定、火山岩下伏的烘烤层热释光法年龄测定多种途径, 把琼雷地区的火山岩按形成的先后顺序分为六期。在六期火山岩当中, 以多文岭期或石卵岭期 ($Q_2^1-Q_2^2$) 分布的面积最广, 为 4826 km², 占琼雷火山岩总面积的 61.4%, 风化壳红土层发育最厚, 厚度一般为 8—21 m, 最大厚度 76 m, 红土层风化达砖红壤的高级阶段, <0.001 mm 的粘土粒占 50—70%, 粉砂占 20—40%, 余为中细砂。其含矿品位较高, 因此对雷州半岛南部的柳尾矿区、新寮、六花沟矿区。海南岛东北部的铺前港矿区、博鳌、清澜等矿区的金红石、钛铁矿、锆英石的滨海砂矿的矿源供应起到决定性的作用。

5. 分析了华南滨海砂矿形成的水动力条件。滨海砂矿来源于陆源输沙, 陆源输沙主要渠道是河流, 河流以中、小河流的输沙含砂矿物质较富, 尽管大的河流年输沙量大, 如珠江的年输沙量高达 8735 万吨, 但由于河口段坡降减缓, 并受潮水的顶托, 以沉积悬移质的粘土和粘土质细砂为主, 因而砂矿贫化, 至今未见有可供开采的矿床和矿点分布于珠江三角洲的河口区, 推断是由于比重大、颗粒粗的砂矿物质沉积于河谷有利的部位未能进入河口的缘故。分析了河流输入河口的砂量, 在华南地区主要是 5—10 月的汛期, 占年输沙量的 86—99%。进入河口区的含矿物质接受海洋动力波浪和潮流的分选, 波浪和潮流的方向决定于风况, 粤东、粤西岸段多年平均偏东风的频率为 68—69%, 偏西风的频率为 8—13%; 最大风速亦以偏东风比偏西风要大, 台风风向皆属偏东风, 为此华南大陆的主要岸段风向态势是偏东风占绝对优势。雷州半岛和海南岛东部海岸总的为南北向, 按偏北风和偏南风整理风的频率, 偏北风的频率为 47—41%, 偏南风的频率为 41—35%, 最大风速雷州半岛以偏北风为最大, 海南岛大致相等。为此, 琼雷东岸在风况的影响下, 波浪和沿岸流把含矿物质总的由北向南搬运, 这决定了水动力对砂矿迁移总的规律。

6. 在分析华南海岸地貌特征的基础上, 将海岸地貌类型划分为侵蚀剥蚀海岸地貌和

堆积海岸地貌类型,前者有山地、丘陵和台地,是砂矿矿源的供应场所;矿源的供应决定于含矿母岩的品位、母岩的风化程度、风化壳厚度和侵蚀剥蚀速度。后者有海滩、砂坝、砂堤、海积平原、海积阶地等,它们是滨海砂矿的分布富集场所。其中以砂堤的含矿量最富,所有华南滨海砂矿床和矿点全部集中在砂堤内,按形态又可进一步细分为毗岸砂堤、离岸砂堤、拦湾砂堤、连岛砂堤、砂岛等;按高程分为高砂堤、中砂堤和低砂堤。华南各地砂堤的高程与浪高成正比。高程最大的砂堤为海南岛东北部文昌景心角至铜鼓岭大砂堤,高程30—50 m,最高达58.7 m。雷州半岛东岸砂堤的高程30 m以上并不鲜见,而闽南、粤东、粤西、广西岸段砂堤高程30 m以上则是鲜见的,这与台风登陆路径掀起的狂风暴潮密切相关。华南滨海砂堤常呈多列平行海岸线分布,由海向陆砂堤的高程递增,其形成时代亦相应变老。一般规律是高程大于30 m的高砂堤形成距今18000年前的晚更新世时期;高程20—10 m的中砂堤形成于距今18000—10000年的晚更世时期;小于高程10 m的低砂堤为距今6000年中全新世高海平面以来形成的。高、中砂堤的时代较老,组成砂堤的砂子经受了风化淋滤时间较长,表层砂子颜色褐红或红色,习惯称老红砂或老红砂堤,华南的砂矿床多赋存于老红砂堤中,如陆丰甲子锆英石矿、电白砂尾磷钇矿、徐闻柳尾锆英石、钛铁矿,文昌铺前锆英石、钛铁矿等。因此高、中砂堤可作为找矿的地貌标志。低砂堤与高、中砂堤相比,含矿较贫,但其华南滨海地区分布远比高、中砂堤广泛得多,有时亦赋存砂矿床。

7. 综合分析了华南滨海砂矿的分布、富集规律。首先从华南第四纪四个由陆相至海相的沉积旋回作了分析,第一、二个旋回局限于琼雷地区,为区域性的地壳升降而引起,滨海相的沉积缺失,未形成有工业意义的砂矿床。第三个沉积旋回上部的海相层,主要为滨海相沉积,在华南沿海分布较广,为形成华南滨海砂矿的良好沉积环境,构成了品位丰富的含矿层,即锦和组和陆丰组沉积时期,既有出露地表的老红砂层,也有深埋于地表下的粘土质细砂、中细砂层。第四个由陆相至海相的沉积旋回发生于全新世,分布于华南滨海地区的大部分砂堤是距今6000年高海平面以来形成的,对全新世的四个地层组的含矿贫富,根据沉积相作了对比,以南山海组(Q_3^{1-1})为最高。

分析了砂堤的形成、发育、演变规律,华南海岸具有湾岬相间的地貌特征,夹持海湾的东西两岬角,而西岬角与波浪折射线交角的增大。波浪或岸流携带的泥沙在波浪破碎或因岸流的流速减缓而堆积,首先出现沙咀,砂咀由西向东增长而逐步转变成拦湾砂堤,拦湾砂堤的地貌特征是西高东低,形成时代是西老东青,砂矿在砂堤的富集规律是西富东贫。以砂堤的脊部为界,把砂堤分为向海侧和向陆侧两部分,则向海侧富,向陆侧贫。同时亦根据砂堤的地貌标志判断砂矿的贫富,在同一地区,高、中砂堤含矿富,低砂堤含矿较贫。砂矿的贫富与砂堤的高程成正比。

8. 提出了华南滨海砂矿的类型分区,分区要按提供砂矿的母岩岩性,又要根据砂矿矿种的类型;分区既有区域的性质,也有类型的意义。主要分为:(1)粤西台山广海湾至鉴江口岸段的磷钇矿、独居石、锆英石砂矿区;(2)雷州半岛和海南岛北部金红石、钛铁矿、锆英石砂矿区;(3)海南岛东南部钛铁矿、锆英石砂矿区;(4)华南锆英石滨海砂矿区;(5)近源比重大的重砂矿,由于其产出成矿岩脉或岩株周围,属华南滨海砂矿之一,归纳成一种类型。对各个类型分区的成矿母岩,水动力条件、砂矿分布、富集作了较详细的叙述。

本书在写作过程中,广州地理研究所所长许自策同志自始至终给了大力支持。广东省

冶金勘探公司 935 地质队提供了大量资料，该队砂矿队技术总负责巫之修高级工程师以及黄均宏高级工程师、李振元、谢礼义工程师提出了很好的修改和补充意见。本书是在华南师范大学教授、我国地貌学界的老前辈曾昭璇老师的鼓励下完成的，曾老师审阅了全稿，为本书写了序言；广州地理所学术委员会主任姚清尹研究员亦审阅了全稿，并提出了很多修改意见，在此一并致以衷心的感谢。

本书的第一章、第三、六、七、八章由张仲英执笔；第二章由刘瑞华执笔；第四章由黄少辉执笔；第五章由陈华堂执笔；全书由张仲英统稿，插图由谭丕显清绘。

滨海砂矿的分布、富集规律研究牵涉的面很广，作者水平有限，资料收集不全，书中难免存在不少缺点甚至错误，敬希读者批评指正。

第二章 滨海砂矿成矿的地质背景^①

一、华南沿海区域地质

华南沿海指闽南、广东、广西、海南岛的沿海地区。该地区濒临太平洋，地壳活动频繁而强烈，大地构造处于华南褶皱系的南缘，地质构造复杂，地层发育较齐全，岩浆活动也很频繁，具有多期活动的特征。

(一) 地层

1. 元古界及下古生界

(1) 震旦系 为华南滨海地区出露的最古老地层，出露于粤西、粤中及海南岛岸段，粤西、粤中为浅变质的砂页岩，海南岛的为深变质片岩，局部见混合岩化(图2-1)。总厚度大于3200 m。

(2) 寒武系 出露于粤西、粤中、闽南及海南岛岸段，粤西的八村群和海南岛的陀烈群混合岩为浅海碎屑岩类及深变质片岩类，总厚大于2300 m，含三叶虫、腕足类、海绵骨针等化石。

(3) 奥陶系 粤西阳江北津港一带为浅海至半深海含笔石页岩、硅质岩及碎屑岩，总厚度大于180 m。海南岛北部以浅海碎屑岩为主，厚200余米，海南岛南部三亚市至半栏一带为浅海碎屑岩夹碳酸盐岩类，含笔石、腕足类、双壳类及三叶虫化石，厚度大于300 m。

(4) 志留系 粤西安铺港一带，以及广西的江平、防城东场滨海地区为浅海相碎屑岩，含笔石，厚度大于1400 m；海南岛三亚市一带为浅海碎屑岩类，含三叶虫和腕足类化石，厚度大于60 m。

2. 上古生界

(1) 泥盆系 出露于粤西、珠江口岸段及大亚湾一带，与下伏地层呈明显角度不整合。粤西出露于廉江及台山地区，由陆相碎屑岩过渡为滨海和浅海碎屑岩至碳酸盐岩类，总厚1200 m；广西铁山港北部为石英砂岩。珠江口岸段至大亚湾一带，过渡为陆相至滨海相碎屑岩，厚790 m。大亚湾一带相变为滨海至浅海碎屑岩，总厚达2400 m。

(2) 石炭系 粤西一带以浅海碳酸岩为主，岩性为微粒生物灰岩、隐晶质灰岩和泥质灰岩，厚255 m；大亚湾一带为滨海至浅海相的细砂岩和粉砂岩，厚约280 m；海南岛西部和北部以浅海碎屑岩为主，为中至细粒石英砂岩和粉砂岩。

(3) 二叠系 仅在大亚湾有零星出露，为浅海相碳酸盐岩类，岩性为微粒生物灰岩及海陆交互相的石英砂岩。

3. 中生界

● 本章主要根据参考文献[3]、[4]资料编写。

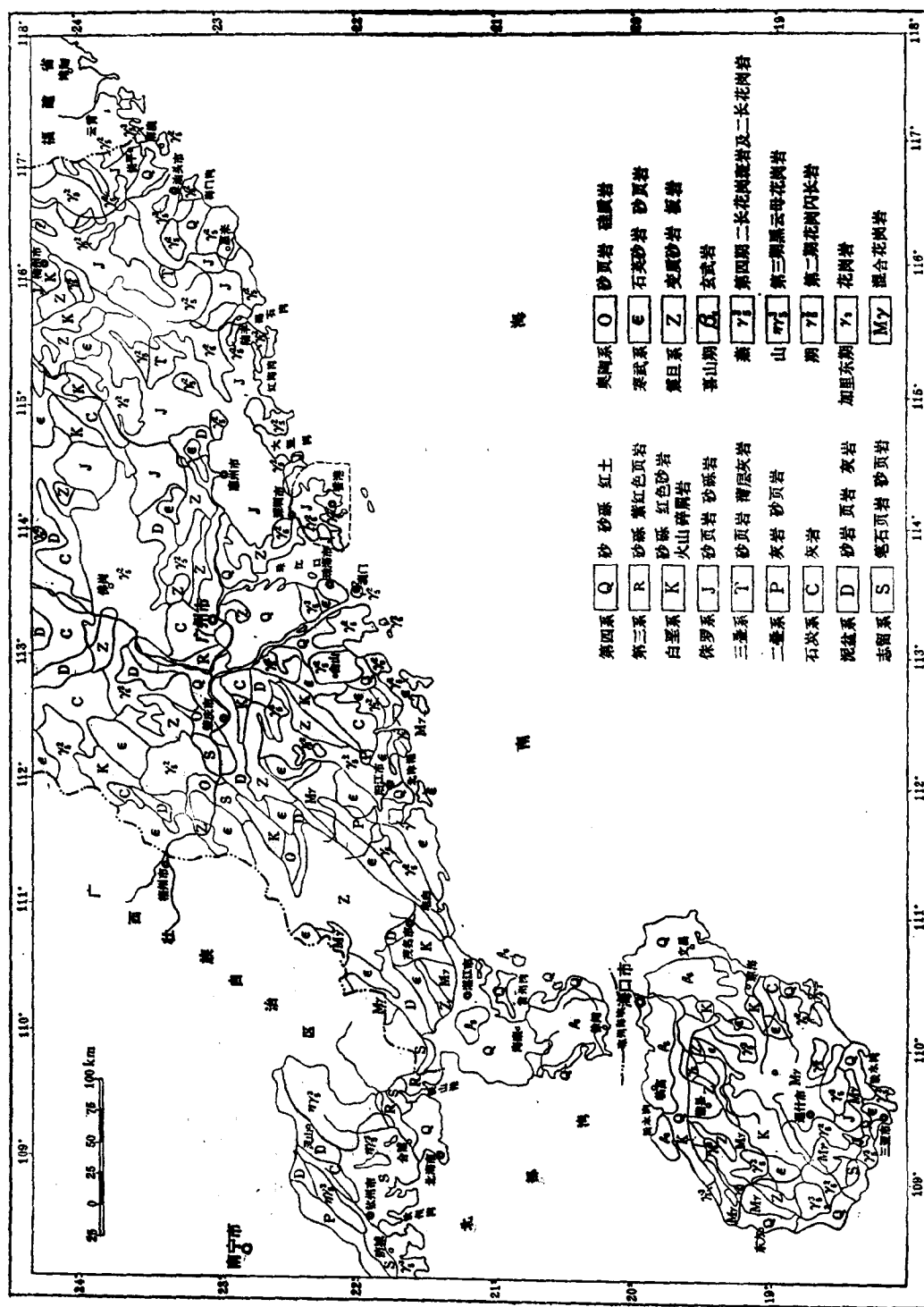


图 2-1 海南沿海地质图

(1) 三叠系 出露于珠江口及粤东岸段, 为浅海碳酸盐岩及细碎屑岩类沉积; 出露于海南岛东部的为山间盆地类磨拉石碎屑岩, 称九曲江组。

(2) 侏罗系 出露于粤东岸段及海南岛东西两侧海岸。下统为以浅海相为主的碎屑岩建造, 厚度变化很大, 从 273—2580 m, 含头足类、瓣鳃类及植物化石。中统为以湖泊为主的碎屑岩夹火山碎屑岩沉积, 上统为陆相中酸性火山岩建造, 以喷发不整合覆于下伏地层之上, 组成粤东沿海的火山岩带, 此外亦零星出露于海南岛及广西防城。

(3) 白垩系 白垩系地层以断陷盆地式沿主要断裂构造带展布, 按沉积建造类型分为湖泊相、火山湖泊相及山间盆地相三大类型, 岩性为暗红色砂岩、砂砾岩、粉砂岩, 局部为砾岩和凝灰岩, 总称为红色岩系。红色岩系盆地广布于粤东、粤西、海南岛, 亦见出露于广西铁山港东北部地区, 红色岩系的厚度变化极大。

4. 新生界

(1) 第三系 主要分布于珠江口、雷州半岛及海南岛北部。下第三系以雷州半岛及海南岛北部最为发育, 由陆相—海相碎屑岩组成, 夹多层玄武岩, 厚达 1500 余米。上第三系仅分布于雷州半岛及海南岛, 以滨海相碎屑岩为主, 夹煤层、油页岩和玄武岩, 总厚达 1000 m。

(2) 第四系 见第三章的第四纪地层部分。

(二) 岩浆岩与混合岩

1. 侵入岩

华南沿海地区出露的侵入岩, 根据时代可划分为华力西期、燕山期及喜马拉雅期。其中燕山期又可进一步划分为五个侵入期, 燕山一期只分布于粤北等南岭山区, 华南沿岸缺失, 故实为四期。岩类以酸性花岗岩为主, 中酸性岩类为次。

(1) 华力西期侵入岩 出露于粤西北津港、广西铁山港、钦州湾岸段, 以及海南岛的东部和西部岸段。以小岩株状产出, 岩类为辉长岩、闪长岩、花岗闪长岩及斜长花岗岩等。

(2) 燕山期侵入岩 ①燕山二期侵入岩: 侵入时期为中侏罗世, 多数呈岩株状产出, 少数为岩基状。出露于珠江三角洲、粤西和海南岛岸段, 岩性以二长花岗岩、花岗闪长岩, 还有石英闪长岩、闪长岩、辉长岩等。②燕山三期侵入岩: 侵入时期为晚侏罗世, 为华南岩浆岩侵入最强烈、最广泛的一次活动。形成了主要由黑云母花岗岩组成的巨大的复式岩体的主体部分, 遍布华南沿海各岸段。③燕山四期侵入岩: 侵入时期为早白垩世, 呈岩株、岩基状产出, 岩类主要为黑云母花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩。本期侵入岩出露较广, 粤东、粤西、广西和海南岛岸段均有出露。④燕山五期侵入岩: 侵入时期为晚白垩世, 呈小岩株及岩墙状产出, 岩性以花岗斑岩为主, 次为中细粒黑云母花岗岩、石英斑岩、石英正长岩等, 呈小面积出露于惠东、台山及海南乐东、陵水等地。

(3) 喜马拉雅期侵入岩 出露面积小, 仅 0.5—20 km², 见于潮阳、陆丰、惠来等地, 呈小岩株状产出, 侵入燕山期花岗岩或花岗斑岩体内, 岩性为辉长岩、辉长辉绿岩。

2. 喷出岩

从元古代、古生代到中、新生代均有活动, 元古代及古生代以海底火山活动的形式产出, 分布于粤西及海南岛。中生代以陆相火山喷溢活动为主, 主要分布于粤东岸线。新生

代以玄武岩岩被为主,分布于雷州半岛和海南岛北部地区。

(1) 震旦系火山岩 见于海南东方抱板,为深变质角闪片岩,绿帘石角闪片岩及阳起石片岩,属海底火山间歇性喷发产物。

(2) 奥陶—志留系火山岩 主要发育于海南岛昌江军营一带,为地槽晚期阶段的产物,以一套细碧质熔岩-石英角斑质火山岩为特征,厚 500 m,属海底火山喷发的超浅成岩体。

(3) 晚侏罗系火山岩 晚侏罗世是华南地质史上最强烈的火山活动时期,由于火山活动沿断裂带复活的影响,故火山岩成带或沿断裂成串珠状分布。集中分布于粤东岸段,火山岩系为一套陆相及内陆湖泊相安山岩-英安岩-流纹岩建造,形成一套巨厚的中性、中酸性、酸性熔岩及相应的火山碎屑岩。

(4) 白垩系火山岩 早白垩系火山岩见于大亚湾一带,以凝灰岩为主,后期见流纹岩。晚白垩系火山岩见于粤西及海南岛岸段,其分布严格受燕山晚期形成的复活断裂带所控制。岩性为安山质、英安质熔岩及火山碎屑岩,以陆相喷发及喷溢作用的方式交替进行。

(5) 第三系火山岩 主要分布于雷州半岛及海南岛北部。出露地表的见于海口市金牛岭火山岩,其上下为上新统的贝壳岩所夹持,属浅海海底式喷发,火山岩钾-氩法年龄测定为 382 万年^[5]。岩性为上部玄武岩,下部凝灰岩。海南澄迈福山凹陷的大量钻孔揭露上第三系夹六期以上的火山岩,累计总厚度大于 175 m。雷州半岛钻孔中,在渐新统涠洲组中可见 8 层厚 1.5—7.0 m 玄武岩夹于沉积层中。在中新统下洋组中有 32 层橄榄玄武岩或粗玄岩层厚 0.2—142.7 m,反映了间歇性的喷溢活动。此外,珠江口岸段也见粗面岩、玄武岩及火山碎屑岩;汕头港幅见橄榄玄武岩呈岩筒状产出。

(6) 第四系火山岩 出露于海南岛北部及雷州半岛,面积 7800 多平方公里,按形成先后可分为六期,以多文岭期或石峁岭期出露的面积最广,约占六期面积的 61%,岩性主要为玄武岩类,火山角砾岩,凝灰岩等。

3. 混合岩

加里东期的岩浆活动,是华南影响范围最广泛的区域性热力事件,使区内的震旦系和下古生界普遍发生区域性变质和混合岩化。经过混合岩化的古老岩层,统称混合岩,依混合岩化程度不同,划分为局部混合岩带、混合岩带和混合花岗岩带。局部混合岩带的岩层保留较多的变质岩成分,不均匀的局部注入脉状混合物,随着脉体的增加和变细加密,则过渡至条带状混合岩。混合岩带由各种类型的混合岩组成,按形态和混合岩化程度的深浅分别为条带状混合岩、条纹状混合岩、眼球状混合岩和阴影状混合岩。混合花岗岩带则由混合花岗岩组成,它是混合岩化程度最高,发展阶段最高的产物。

混合岩出露于粤西和海南岛岸段,珠江口段也有出露。粤西混合岩及加里东期混合岩化花岗岩是磷钇矿、独居石滨海砂矿的母岩。海南岛中南部地区的加里东期—华力西期混合花岗岩,出露面积达 2700 km²,为钛铁矿、锆英石滨海砂矿的母岩。

(三) 构造

华南沿海地区大陆部分对地质构造有强烈影响的主要是燕山期的断裂活动和广泛的以酸性岩为主的岩浆侵入,以及喜马拉雅期的断块作用及基性岩浆喷发活动。海南岛还受到较早期的加里东及华力西—印支期构造运动的影响。整个沿海地区的构造体系可归纳为:

华夏式方向（包括华夏系、早、晚新华夏系）以及北西向和东西向构造组成华南沿海地区的构造格局。

1. 华夏式构造体系

这是北东—南西向展布构造带的统称。按其活动期以及发育方向，华南沿海的主体构造可以划分为华夏系、早期新华夏系、晚期新华夏系以及早晚新华夏系的复合构造。

（1）华夏系 以海南岛各个岸区较为典型，可以划分为红岭—军营褶皱带，陀兴构造带，琼海构造带，大茅褶皱带等。其展布方向一般为 $45-65^{\circ}$ 。加里东期多以线型复式褶皱发育；华力西—印支期的褶皱较为开阔，断裂、片理、混合岩条带以及片麻理多为平行于褶皱发育。华夏系与新华夏系有叠加现象。

（2）新华夏系 早期新华夏系的断裂褶皱带，多发育于本区的东部海岸，发育方向多以北东 $40-60^{\circ}$ 展布，伴随褶皱断裂破碎带有岩浆侵入和喷发活动，对现代地貌及海岸线的展布和钨、锡成矿带的分布均起到一定的控制作用。

晚期新华夏系，主要发育于大亚湾和水东港一带，呈北北东向斜式展布，以压扭性为主，明显切割早期新华夏系断裂。

早期与晚期新华夏系复合构造，于粤西及北部湾北部海岸地区发育明显。发育方向为北东 $30-40^{\circ}$ ，是在早期华夏系的基础上进行改造归并发育形成。定型于印支运动，燕山期以来仍有活动。

华夏式构造根据其发育的特点及程度，可划分为深断裂和大断裂以及一般断裂，从东到西的深断裂主要有：⑦南澳断裂；⑥汕头—惠来断裂；⑤潮安—普宁断裂；④莲花山断裂；③河源断裂；②恩平—新丰断裂；①吴川—四会断裂；1）合浦断裂；2）钦州断裂。大断裂主要有：（6）紫金—博罗断裂；（5）潭筛断裂；（4）信宜—廉江断裂；（2）罗定—悦城断裂；（1）郴县—怀集断裂。

2. 东西向构造体系

它们由一系列东西向断裂组和重磁异常组成，对中生代以来的岩浆活动、新生代沉积和近代地貌、热泉、地震等均有明显的控制作用。在空间分布上具有一定程度的等距性。在时间上，经历了长期的复杂过程，所以构造组分复杂而又多样，散漫而连续性较差。从北到南主要有以下几组断裂：深断裂有⑧佛冈—丰良断裂；⑨高要—惠来断裂；⑩琼州海峡断裂。主要的大断裂有：（8）贵东断裂；（9）递溪断裂；（10）王五一文教断裂；（11）昌江—琼海断裂；（12）尖峰岭—大吊罗断裂；（13）九所—陵水断裂。

3. 北西向构造体系

在整个华南沿海均有发育北西向断裂构造，虽然这组构造的规模不大，其对海岸地区的地貌及海岸线却起到明显的控制作用。

此外，华南沿海的新构造运动，区域性的升降运动，断块运动及活动性断裂活动非常频繁，沿着活动断裂发生火山喷发、热泉及地震。主要有以下几组断裂：（14）饶平—大埔断裂；（15）河婆—惠来断裂；（16）三洲—西樵山断裂；3）铺前—清澜断裂；4）长流—仙沟断裂；5）高山岭断裂。

4. 南北向构造体系

大致可划分为大隆洞复式倒转褶皱和琼东断裂带。大隆洞褶皱带展布于广东台山一带，由断裂及复式倒转褶皱组合构成，规模不大。琼东断裂组由6）铺前—博鳌断裂；

7) 琼山—石合断裂; 8) 白莲—瑞溪断裂组成, 南北向延伸, 对华力西期岩浆侵入和喷溢活动均有控制作用 (图 2-2)。

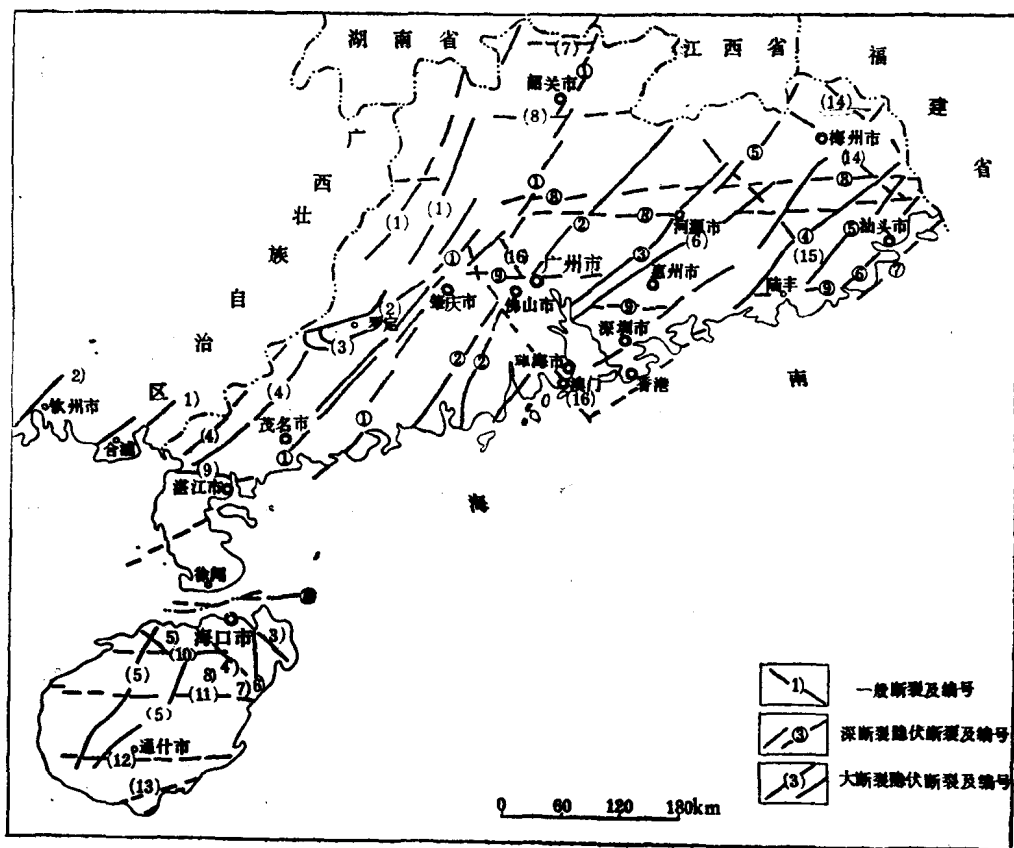


图 2-2 华南沿海地区构造体系图

深断裂: ①吴川—四会断裂; ②恩平—新丰断裂; ③河源断裂; ④莲花山断裂; ⑤潮安—普宁断裂;
⑥汕头—惠来断裂; ⑦南澳断裂; ⑧佛冈—丰良断裂; ⑨高要—惠来断裂; ⑩琼州海峡断裂
大断裂: (1) 郁县—怀集断裂; (2) 罗定—悦城断裂; (3) 贵子弧形断裂; (4) 信宜—廉江断裂; (5)
潭镜断裂; (6) 紫金—博罗断裂; (7) 九峰断裂; (8) 贵东断裂; (9) 遂溪断裂; (10) 王五—文敖断
裂; (11) 昌江—琼海断裂; (12) 尖峰岭—大吊罗断裂; (13) 九所—陵水断裂; (14) 饶平—大埔断
裂; (15) 河婆—惠来断裂; (16) 三洲—西樵山断裂
一般断裂: 1) 合浦断裂; 2) 钦州断裂; 3) 铺前—清澜断裂; 4) 长流—仙沟断裂; 5) 高山岭断裂;
6) 铺前—博鳌断裂; 7) 琼山—石合断裂; 8) 白莲—瑞溪断裂

二、母岩对砂矿成矿的控制

(一) 物质来源

滨海砂矿的形成与近岸出露的基岩关系密切, 其物质来源于一定的成矿母岩, 不同的母岩则往往决定了不同的砂矿类型。制约砂矿成矿的因素较多, 但先决条件是砂矿的物质来源。华南滨海砂矿主要是陆源物质, 哪个地区原生岩中含某种重矿物较多, 往往在其附近的滨海形成某种具有工业价值的砂矿床。总的来说, 华南滨海砂矿的母岩为变质岩、岩浆岩和第四纪火山岩。独居石、磷钇矿的磷酸盐砂矿类, 主要母岩为寒武系八村群混合岩

及加里东期混合岩化花岗岩，有些地区混合岩中的原生岩就能富集成磷钇矿矿床。锆英石滨海砂矿的母岩为酸性和中酸性侵入岩，燕山三期侵入的黑云母花岗岩，在华南地区分布极广，多呈岩基和岩株产出，大岩基出露的面积达 1000 km² 者并不鲜见，最大的佛冈岩体面积为 5614 km²，燕山三期出露面积约占华南总面积的 11.5%，根据华南各地的 251 个该期花岗岩的人工重砂分析结果（表 2—1），含锆英石的平均品位为 59.1 g/t。阮汀

（1981）曾提出广东大陆母岩富集成矿系数 K 值， $K = \frac{CO}{C}$ ，式中 CO 为含矿母岩中的矿物品位， C 为砂矿最低工业品位； K 值大于或等于 0.05 才有可能在母岩附近形成滨海砂矿床。锆英石的最低工业品位为 1 kg/m³，按通常习惯 1 m³ 的松散沉积物为 1.8 t 换算，那末燕山三期花岗岩的 K 值为 0.106，比 K 值要求的 0.05 大一倍还多。如（表 2—1）所示，燕山四期的花岗闪长岩、二长花岗岩、黑云母花岗岩等的锆英石品位多在 100 g/t 以上，最高的海南屯昌花岗闪长岩岩体锆英石品位为 259 g/t。由此可见，华南滨海砂矿成矿的地质先决条件是非常优越的。因此，华南滨海锆英石大、中、小型砂矿床比比皆是。

表 2—1 华南侵入岩岩体副矿物种类和含量

岩 类	分 布	样 品 数	副矿物种类和含量 (g/t)								
			钛铁 矿	金红 石	锆英石	独居石	磷钇矿	石榴石	磷灰石	锐钛 矿	电气石
加里东期中酸性岩类	非沿海地区	13	58.9		60.6	0.01	0—微量	微量	66.7		8.3
华力西期辉长辉绿岩	万宁长安		579		少量				148		2328
印支期中酸性岩类	非沿海地区	10	65		44	24			370		3
燕山二期二长花岗岩	阳江县城附近	2	1.5		147	少量			724		5079
二长花岗岩	海南昌江石碌	1	6	221	93	微量			484		微量
燕山三期黑云母花岗岩	沿海各地	251	49.3		59.1	9.57	3.64	14.8	43.5	0.54	850
燕山四期花岗闪长岩	海南保城	10	18.4		33.7	0.6	少量		118		914
黑云母花岗岩	陆丰甲子	6	7		112	1	1	0.3	30	微量	2137
二长花岗岩	潮阳县城附近	2	12		133						微量
花岗闪长岩	海南屯昌	1	14		259				497		271
二长花岗岩	惠来北山顶	4	18		128	7.5					少量
二长花岗岩	海丰八万	5	51		109			少量	20		3.6
燕山五期黑云母花岗岩	华南各地	39	46.8	少量	29.8	15.6	0.01	0.68	0.23	少量	380
花岗斑岩	华南各地	16	28.8	少量	47.5	4.9	0.74	48	8.1	3.42	908
辉长岩	华南各地	10	1026	少量	5	少量			623		976

* 所用数据引自《广东省区域地质志》（1988）

要指出的是母岩成矿富集系数的 K 值并不是普遍适用的，母岩所含理化性质稳定的砂矿物质要经过风化才能解脱出来，同一个地区的不同类型的岩性，风化程度和风化壳发育深度显然不同。同一种岩石在不同气候带，其风化壳的发育差别亦极大，风化壳发育有地带性。为此，对热带、亚热带地区的花岗岩、第四纪火山岩的 K 值偏小，亦可富集成滨海砂矿，因其风化速度要快，风化阶段要高，风化壳深厚。但变质岩，特别是变质的砂页岩、片岩类的风化壳多为残积碎屑型，极少见到薄层红土型和厚层红土型的风化壳类型， K 值则要偏大。

出露于雷州半岛和海南岛北部的第四纪火山岩则是钛铁矿、金红石滨海砂矿的母岩，