应用深部地球物理资料进行成矿预测

METALLOGENETIC PROGNOSIS BY USING DEEP GEOPHYSICAL DATA

许绳铭 蔡圣芬
Xu Shenmin Chai Shenfen
（福建省物化探大队）
(*Fujian Geophysical and Geochemical Exploration Party*)

摘 要

福建地处西太平洋火山带的外带，浙闽粤火山活动带中段。中生代火山—侵入岩广布东南沿海，成矿地质条件好，（带内新的矿产地陆续发现），尤其是贵金属矿产更为突出。大的成矿带都与相应的地质构造背景有着密切的关系，利用地球物理资料分析深部地质构造，进行成矿预测已是区域性成矿预测不可缺少的手段。

本区除系统地进行了1/50万区域重力调查，1/5万航空磁测，1/20万区域化探扫面外，还进行了爆破地震测深、大地电磁测深、地温场测量等深部地球物理探测，取得了丰富的地球物理、地球化学的信息。通过对区域地球物理资料电算处理，并进行定性和定量解释，推断了控制中生代火山活动机制的深部构造特征，较好的确定了中性及酸性侵入岩体的分布范围，判断其所处的构造部位和形态，进而建立火山岩基底构造格局，火山—侵入岩带分布。结合地球化学成果，从深部地质、地球物理特征阐述了成矿的构造条件，并进行了成矿的预测。

Abstract

Fujian province is located in the outer zone of western pacific volcanic belt, the central sector of Zhejiang-Fujian-Guangdong volcanic active belt. Mesozoic volcanic-intrusive rocks distributed widely along the coast of Southeast China, where is favorable to metallization, especially for noble metal deposits. All the known economic significant metallogenetic belt are mainly related to the geological-tectonic enviroment. It is very important to use geophysical data to analysis deep geological structures for performing regional metallogenetic prognosis.

In this area, besides regional gravity prospecting on the scale of 1 : 500000, aeromagnetic survey on the scale of 1 : 50000 and regional geochemical prospecting on the scale of 1 : 200000, we also have carried out some deep geophysical prospecting, for example, explosion earthquake depth-sounding, telluric electromagnetic sounding, earth-temperature field measurement, and gained a great deal of geophysical and geochemical information. By computer-processing of regional geophysical data, and making qualitative and quantitative interpretation, we have derived deep tectonic features which controlled the mechanism of Mesozoic volcanic atctivities, definited the shape and distribution of intermediate-acidic intrusive rocks, and established the tectonic style of volcanic rock basement and the distribution of volcanic-intrusive rock zone. Combined with geochemical results, tectonic condisions for metallization were outlined from deep geological and geophysical characteristics. Also, we have performed metal-

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

logenetic prognosis for some prospective area.

一、深部地球物理场及其分析

1. **重力场**：通过对重力资料的电算处理，获得的福建地区深部重力场特点是：平均布格重力异常由沿海 PT 附近的 $30\times10^{-5}ms^{-2}$向内陆 LC 周围减少为 $-45\times10^{-5}ms^{-2}$，变化幅值达 $75\times10^{-5}ms^{-2}$，呈两侧高、中间低的总趋势。重力场以福安—闽清—华安和邵武—长汀为界分为三部分：东部，平均布格重力异常以梯级带形状出现，异常等值线展布方向呈 45°，异常值变化幅度达 $65\times10^{-5}ms^{-2}$。梯级带以莆田—建宁一线分为南北两段，南段异常走向为 45°，最大梯度值为每公里 $1\times10^{-5}ms^{-2}$；北段异常走向为 30°，最大梯度值为每公里 $0.6\times10^{-5}ms^{-2}$。梯级带中心位置在福鼎—福州—莆田—漳浦一线，显示了沿海的深部构造隆起。中部总体为重力低，但呈现出两高、两低的重力场分布特征。自北至南有：浦城—政和—古田一线的北东侧重力低（$<-45\times10^{-5}ms^{-2}$）；建阳—南平重力高（$>-30\times10^{-5}ms^{-2}$）；连城—大田重力低（$<-45\times10^{-5}ms^{-2}$）及上杭—永定的西南重力高（$>-40\times10^{-5}ms^{-2}$）。

深部重力场的面貌反映出福建深部地质构造的基本格局：以三条东西向构造带，三条南北向构造带，三条北东向以及三条北西向构造带构成。其中以沿海北东向构造带最醒目，其它方向的构造带都汇合于沿海北东向构造带，从而构成“东西分带，南北分块”的构造格局。从时代上分析，东西向与南北向形成的时代相对较老，北东向、北西向形成的时代较新，或者说延续的时代更长。

根据平均布格重力异常反演的地壳厚度和深部的地质构造格架，福建地区深部Ⅰ级构造区可分成两个：沿海幔隆区和内陆幔坳区（图 1）。沿海幔隆区又可分为福鼎—南日岛隆起和惠安—东山隆起两个Ⅱ级构造区。内陆幔坳区可分为柘荣—平和缓坡带；浦城—屏南坳陷；建阳—南平隆起；连城—龙岩坳陷；武平—东山隆起；邵武—长汀隆起六个Ⅱ级构造分区。

2. **磁场**：航磁 ΔT 资料经预处理（化极上延 20km）得到的区域磁场（图 2）特征是：以 118°30′E 为界，以东为正磁场区，有政和、永泰两个磁异常带，分别呈 320°和 45°展布；政和磁异常强度以 40nT 等值线圈闭，范围包括松溪—政和—屏南，与重力低位置相当。永泰磁异常强度以 50nT 等值线圈闭，范围包括福州—永泰—永春，显示出火山作用的产物。以西为三条正磁异常带和二条负磁异常带相间排列，漳州正磁异常强度＞20nT，走向 40°与永泰磁异常构成北东向磁异常带，其间在安溪、南安一带被北西向负异常带截断。大田—永定负磁异常带，磁场强度－20nT，走向 50°，至大田附近走向转为 40°；永安—上杭正磁异常带，磁场强度＞10nT，走向 50°；沙县—连城负磁异常带磁场强度为－10nT，走向 50°；长汀—泰宁正磁异常带，磁场强度＞20nT，西南段长汀—宁化异常走向为 20°，东北段建宁—光泽为 25°，按异常分布与地层磁性的关系，说明邵武—漳平与建阳—尤溪之间的负磁场区可能主要显示基底磁场特征，周围磁异常分布是在基底上叠加的磁场，说明这些地区中新生代火山活动强烈，其火山活动的产物具有一定的磁性。

综合重磁场特征，认为在反映深部地质构造格局上有共同点，也有不同点。共同点是：①在 25°20′N—26°00′N，26°40′N—27°20′N 显示东西向构造带；②在 118°30′E 附近有南北向构造带；③26°N 的南北两段存在不同的构造特征；④沿海北东向构造带均有反映。不同点为：①

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

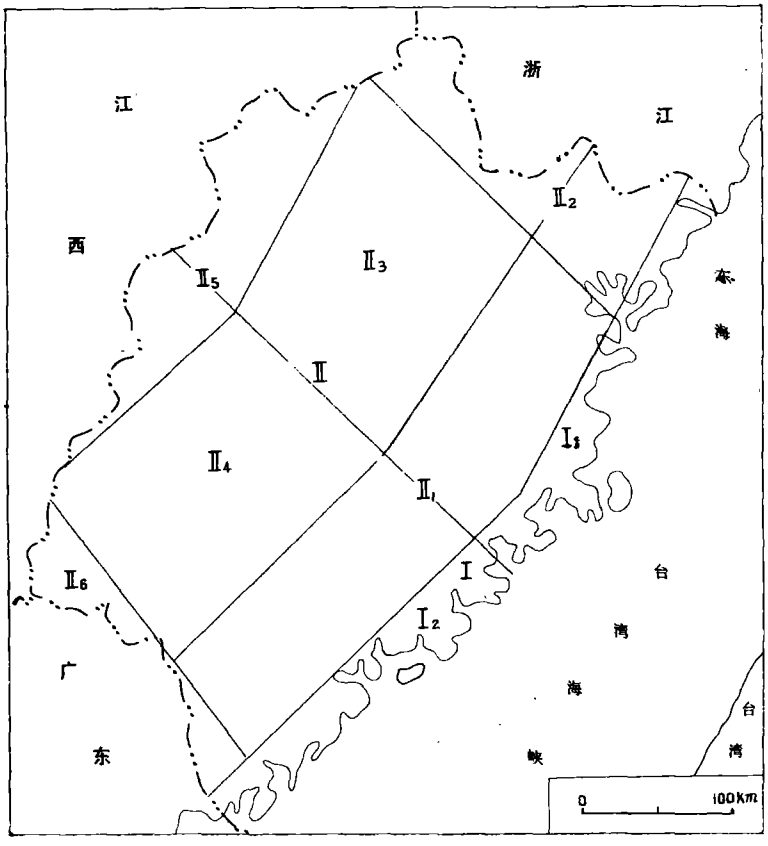


图 1 福建省构造分区图

Ⅰ—沿海幔隆区；Ⅰ1—福鼎—南日岛隆起；Ⅰ2—惠安—东山隆起；

Ⅱ—内陆幔坳区：Ⅱ1—柘荣—平和缓坡带；Ⅱ2—浦城—屏南坳陷；Ⅱ3—建阳—南平隆起；

Ⅱ4—连城—龙岩坳陷；Ⅱ5—武平—东山隆起；Ⅱ6—邵武—长汀隆起。

Fig. 1 Tectonic division map of Fujian Province

Ⅰ—mantle upwarping region along the coast of Fujian Province;

Ⅰ1—Fuding—Nanridao upwarp; Ⅰ2—Huian—Dongshan upwarp;

Ⅱ—inland mantle downwarping region;

Ⅱ1—Zerong—Pinhe slightly sloping zone; Ⅱ2—Pucheng—Pinnan downwarp;

Ⅱ3—Jianyang—Nanpin upwarp; Ⅱ4—Liancheng—Longyan downwarp;

Ⅱ5—Wupin—Dongshan upwarp; Ⅱ6—Shaowu—changtin upwarp.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

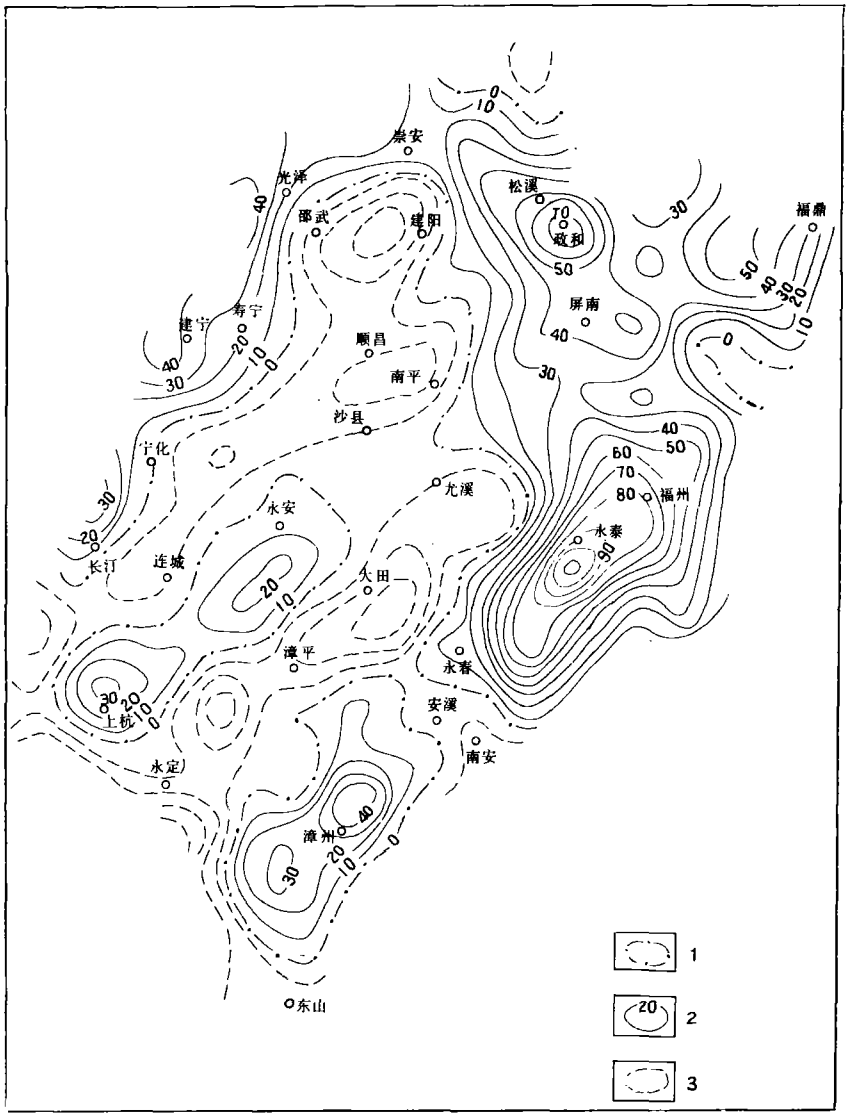


图 2　福建省航磁 ΔT 化极上延二十公里平面图

1—零等值线；2—正等值线；3—负等值线。

Fig. 2　Upward—continuation 20 km map of aeromagnetic anomaly ΔT reduced to the pole in Fujian Province

1—zero isopleth; 2—positive isopleth; 3—negative isopleth.

建阳—南平重磁异常位置不完全重叠；②连城—大田重力低，磁场反映为北东向展布的中间磁力高，两侧磁力低。这些现象说明不同的物理量反映出不同的地质内容，深部重力场主要反映上地幔界面的起伏状态，磁场则反映地壳中磁性地质体的分布特征。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

二、火山—侵入岩带的分布特征

火山作用是地质构造运动的表现形式之一，其结果导致地壳物质的再分布。因而利用地球物理资料可以分析和推断火山—侵入岩带分布的特征。根据重磁场的特征结合地质情况，说明在福建东部沿海，是中生代火山活动区，它与浙东、粤东构成浙、闽、粤中生代火山岩带，带内环状构造发育。如平和、石牛山等环状构造沿北东向展布，构成主要的火山喷发带，其间伴随有同源的侵入岩的分布。除重力资料反映沿海地壳厚度减薄外，地震测深也显示自内陆到沿海地壳逐渐减薄，而且上地幔顶部纵波速度普遍降低，这说明存在壳幔混合物，也可能是上地幔顶部部分熔融所致。大地电磁测深结果显示高导层向内陆倾斜，倾角较陡。深部地球物理资料说明福建沿海地壳结构的复杂。在板块相互作用下导致地壳物质的熔融，加上部分地幔物质的熔融混入，构成现今错综复杂的火山—侵入岩带。尤其是太平洋板块与菲律宾板块对大陆边缘作用的方向和速率的不同导致了火山—侵入岩带分布的差异。莆田—建宁以南呈北东向展布，以北则呈北北东—南北向展布。而且出现不同成分的侵入岩带相间排列的迹象，如南部自沿海往内陆有：笏石—东山隐伏、半隐伏的基性岩带；榜头—诏安的花岗岩带；诗山—南靖的花岗闪长岩带；尚卿—梅林花岗岩带。北部从东到西有：福鼎中酸性岩带；管阳—浮鹰岛晶洞钾长花岗岩带；南阳—平潭中性、中酸性岩带；坑底—高山酸性岩带；香炉坪—福州中性、中酸性岩带；铁山—方壶山酸性岩带。这些带的南端均截止于莆田—大田一带，除了南北向侵入岩带外，还有一条明显的北西向火山岩带，即浦城—宁德火山岩带。该带除有明显的白垩系石帽山群火山岩分布外，还有三个环状构造沿北西向展布。

三、成矿条件的分析

福建东南沿海中生代火山岩区，以金作为成矿预测的目标是项探索性的研究，因为本区仅有一些矿点或矿化点可供参考，所以成矿条件的分析只能从地球物理特征，结合地质、地球化学的实际资料，参照邻区有关成功的经验，从成矿物质来源、控矿构造、火山—侵入活动、成矿部位等方面进行分析。

本区位于环太平洋中生代火山岩带上，是两大板块相互作用的前缘，具有金矿形成的有利构造环境。根据初步的总结，我省金矿成矿有利的地质条件为：

1. **含矿层**：已知金矿点、矿化点主要分布在前寒武纪的地层中（占 45%），其次为晚侏罗系的火山岩和火山沉积岩（39%）。前寒武纪变质岩中主要含矿层为麻源群第二、四段，震旦系丁屋岭组和龙北溪组。含矿火山岩主要有南园组第二段流纹质晶屑熔结凝灰岩、流纹质晶屑凝灰熔岩、第三段粒状碎斑熔岩和长林组的凝灰岩。

2. **构造控制**：金矿（化）点受区域性深大断裂带控制明显，北东向大型断裂带附近是金矿（化）点以及金异常集中地带，特别是北东向与北西向断裂带构造交汇处，矿化更为集中。大型火山机构周边的环状构造和放射状构造，尤其是这些构造与区域性断裂带交叉部位，往往是金矿点、矿化点的集中区。

3. **火山岩与基底老变质岩之间的构造对成矿的控制作用**：政和—大埔以西的老变质岩之

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

上的上叠式火山盆地和东部火山岩区内出露的基底变质岩“天窗”是成矿的有利地段，这可能是金丰度较高的基底地层在火山热液作用下，活化而富集成矿。

4. **岩浆活动**：已知金矿点、矿化点都与侵入岩体分布有关，主要是与华力西—印支期的石英闪长岩和花岗闪长岩、燕山早期第三阶段第二次侵入的石英闪长岩、花岗闪长岩和晚期的石英二长岩等中性、中酸性岩体有关，这可能是金具强烈的亲铁性，故与铁、镁含量高的岩体关系密切。

上述金矿成矿地质条件与地球物理场的关系是密切的：1. 在分析金矿点、矿化点与剩余布格重力异常关系时，发现金矿点、矿化点有 91%落在正剩余异常区内，其中在 0—4×10^{-5} ms^{-2}范围内占 78%；即使落在负异常内，也是在负异常中的相对重力高处，这是岩金的情况。砂金矿点也有 80%落在正重力异常区内。其原因是本区重力高主要由中酸性岩体和震旦系或麻源群变质岩引起，与成矿条件一致。2. 在闽东南火山岩区，重磁异常推断的北东向展布的大型环状构造与金矿点，矿化点的关系也是密切的，如石牛山火山环状构造，在周围有尤溪、德化、仙游等矿点、矿化点分布。其环状重力高的地质原因是上元古界—震旦系地层和华力西期、燕山期的石英闪长岩引起。矿点、矿化点位于南园组火山岩与中酸性岩体及老变质岩地层的接触带上。该环的东部有闽侯—福州—福清重力高带，与水系沉积物金元素异常有关，推断重磁异常是隐伏、半隐伏中性岩引起。侵入岩金的丰度比沉积岩高数倍，是金矿重要的物质来源，而且岩浆带来巨大的热能使金元素活化并在适当的构造部位富集成矿，故也是成矿有利的地质条件。

四、金矿远景区预测

通过地球物理、地球化学资料的解释与金矿成矿地质条件对比，认为在闽东南火山岩区内，香炉坪—福清、莆田—东山、石牛山和平和环状构造是金矿成矿远景区（带）（图 3）。

1. **香炉坪—福清成矿远景带**

该带在本省范围由四个重力高构成南北向展布的重力异常带，长约 200km，向北可延续至浙江的龙泉、遂昌，总长可达 300km。异常值一般在 0—$4\times10^{-5}ms^{-2}$，仅福清异常达 10×10^{-5} ms^{-2}，推断香炉坪、寿山两地重力高系震旦系变质岩地层及中酸性岩引起的。闽侯、福清重力高是隐伏、半隐伏中性岩引起，它们的磁场特征，都是反映喷发火山岩正负跳跃的异常。

香炉坪重力高：有 JP 金矿点，其深部受邵武—福鼎东西向基底隆起带的控制，在火山岩之下存在隐伏的中性岩体和老变质岩，其成矿的地质条件与龙泉、遂昌相似。

寿山重力高：位于宁德—浦城北西向断裂带、南北向中酸性岩浆岩带、寿宁南阳—尤溪北东向基底隆起带及寿山环状构造交汇处，火山—侵入活动频繁，分布有晚侏罗系南园组、坂头组和白垩系石帽山群火山岩，不同期次、不同成分的侵入岩分布广泛，在黛溪等地有震旦系地层出露，根据地球物理资料推断石帽山群火山岩之下仍有隐伏的震旦系地层，其埋深约 1—1.5km，厚 2.2—2.7km。

闽侯重力高、福清重力高：推断在南园组和石帽山群火山岩覆盖下有隐伏、半隐伏的中性岩，水系沉积物测量金元素异常反映良好，在其附近已有 LQ 金矿。

本带纵贯浙、闽东部达 300km，北段已发现大型金矿床，沿带陆续有中型金（银）矿、矿

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

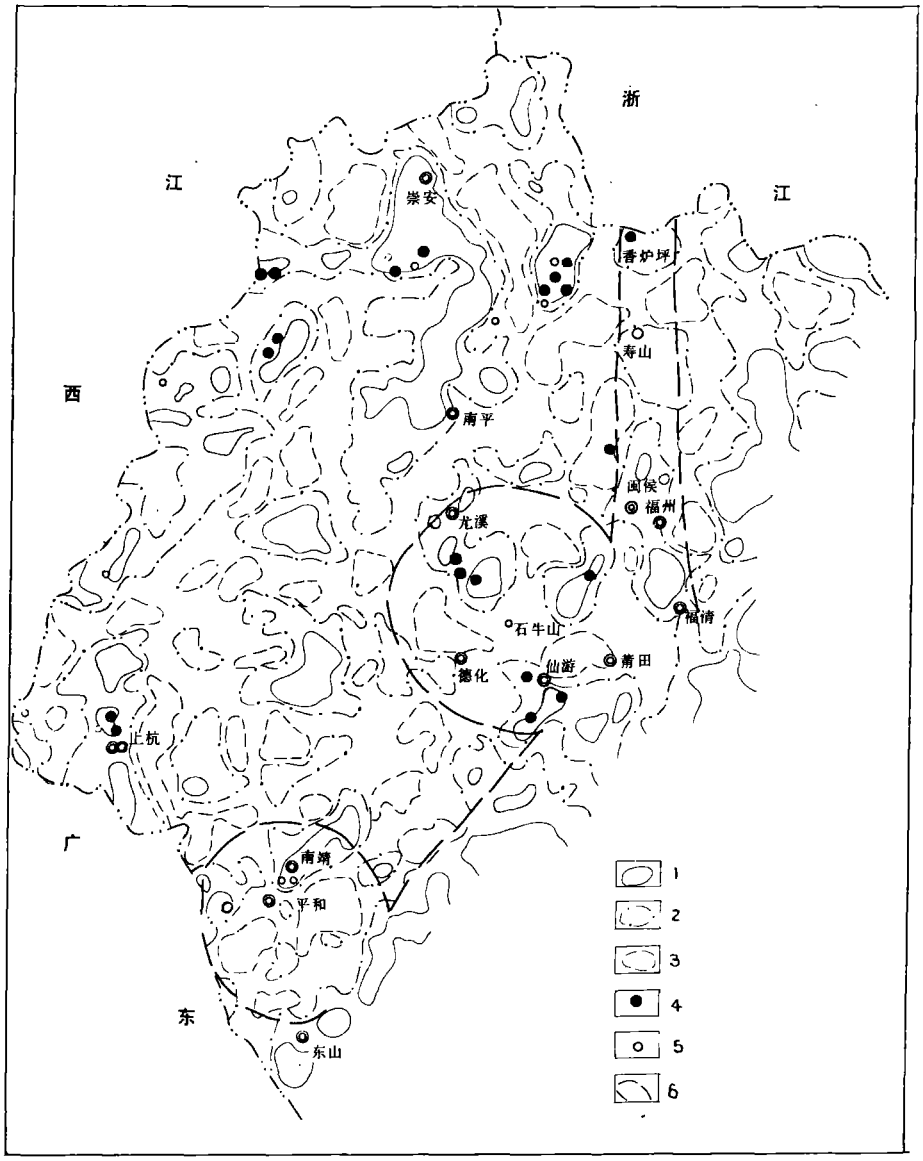


图 3 闽东火山岩区金矿远景预测图

1—正剩余重力异常（$4\times10^{-5}ms^{-2}$）；

2—零值线；3—负剩余重力异常（$-4\times10^{-5}ms^{-2}$）；

4—岩金矿点；5—砂金矿点；6—金矿远景区。

Fig. 3 The prognosis map for gold deposits outlook in volcanic rocks area of East Fujian

1—positive residual gravity anomaly; 2—zero isopleth;

3—negative residual gravity anomaly; 4—mineral occurrence of gold;

5—mimeral occurrence of placer gold; 6—prospective area for gold minerals.

化点及金异常出现；其南段是沿海构造方向转折部位，又是石牛山环状构造的组成部分；对找矿突破具备良好的地质条件。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

2. 莆田—东山成矿远景带

本带位于沿海北东向重力梯级带内，长约250公里，由一系列北东向展布的正剩余重力异常组成，异常值一般在0—$8\times10^{-5}ms^{-2}$，推断由高密度的中—基性岩带及前寒武系变质岩引起，重力、地震测深、大地电磁测深等深部地球物理资料均反映地壳乃至上地幔界面有剧烈的变化，即沿海一带地幔隆起，地壳明显减薄。其底部存在向西倾斜的高导层，地表已有资料证实有寒武系及前寒武纪地层，沿海变质带具韧性剪切特征，两端受东西向深部构造控制，与多条北西向构造交汇，并有隐伏、半隐伏的基性岩存在，有已知金、银矿化点分布在带上，重砂及水系沉积物金异常反映良好，在与北西及东西向构造交汇处，金异常明显增高，成片出现。异常一般大于10ppb，个别点高达1176ppb。

3. 石牛山火山环状构造远景区

位于香炉坪—福清成矿远景带与莆田—东山成矿远景带交接的内侧，为石牛山环状构造的西南弧，有尤溪、安村、仙游重力高。

尤溪重力高，推断由麻源群变质岩地层和中酸性岩体引起，位于寿宁—尤溪基底隆起带上，北东向及北西向断裂构造发育，该重力高范围内已知有GT金矿点，XC、QX砂金矿点及两个含金、含银的多金属矿点。

安村重力高由麻源群—震旦系地层和隐伏、半隐伏中酸性岩引起，出露有华力西—印支期石英闪长岩和南园组、长林组火山岩，已有AC和GK金矿点。

仙游重力高由仙游石英闪长岩引起，金矿点及金异常位于岩体与南园组火山岩接触带，呈东西向沿接触带展布。

石牛山环状构造远景区成矿地质条件良好，尤其是在西部尤溪一带，为基底隆起区，火山及侵入活动强烈，断裂构造发育，已发现多个金矿点，值得进一步工作。

4. 平和环状构造远景区

位于莆田—东山成矿远景带的南端与北西向构造带汇合部位，有福塘、南胜、云霄、大布等重力高，推断重力异常主要与中性侵入岩有关，受北西向深部构造控制，火山活动强烈，温泉分布广泛，地表岩石蚀变强烈，区内已发现多个金、银矿床及矿点，金银异常与火山环状构造关系密切。

总之，用深部地球物理资料对贵金属矿进行成矿预测，主要是从地球物理资料推断深部地质构造背景、含矿有利地层及有关岩体的分布、火山构造的特征，结合化探异常资料进行综合分析，对成矿预测来说能起到间接找矿的作用。通过综合分析，认为福建东部火山岩区成矿远景带具有两带加两环的分布特征，是突破火山岩区贵金属找矿的有利地区。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki