

厦 门 地 质 图

1:50 000

说 明 书

福建省地质矿产局区域地质调查队

地 质 出 版 社

厦 门 地 质 图

地 质 出 版 社

前 言

厦门位于中国东南部，东濒台湾海峡，背靠闽南金三角，是中国的经济特区之一，也是美丽的滨海城市和富有诗意的钢琴之乡。区内交通发达，除鹰厦铁路、福厦公路可达厦门外，还有厦门机场可通世界各地，同时也是中国主要港口之一。该区属亚热带海洋性气候，冬无严寒、夏无酷暑，物产丰富，气候宜人。鼓浪屿风光幽雅别致，南普陀庄严肃穆，万石植物园多彩多姿，集美鳌园胜景如画，此外还有万寿岩、云顶岩等风景名胜和海滨浴场，是旅游者向往的胜地。

厦门地区地质构造位置属“闽东火山断拗带”东缘，“闽东南沿海变质带”的西南部。在地震危险区划图中，划归东南沿海地震带。因此，该区基础地质研究，对探索东南沿海中生代以来地壳演化及厦门地区社会发展、经济建设都具有重要意义。

厦门地区地质工作始于1911年，但在1949年以前，仅有少数中、外地质学家作过零星的地质矿产调查。1949年以后，随着国民经济建设的发展，区内地质工作有了快速的进展，特别是1958年以来，地质矿产调查研究工作发展迅速，先后有华东石油物探大队，福建省地质矿产局所属的水文地质工程地质队、区域地质调查队、厦门水文地质工程地质公司、物探队，福建省地震局地震地质综合队等单位作了较系统的地质矿产调查，水文地质、工程地质勘查，航空和地面磁法测量及地震地质研究等工作。

本图充分搜集和利用了半个多世纪以来，尤其是70年代以后1:20万和1986年1:5万区域地质调查最新成果，同时还搜集利用了近年来水文及工程地质、地球物理、遥感地质和地震地质等各方面专题研究成果资料而进行编制的。

编图工作自1987年4月开始，同年12月完成。地质图及说明书由福建省区域地质调查队郑声俭、许美辉编撰，参加该项工作的尚有王文腾、林跃麟、魏礼仁等。地理底图由福建省地质测绘队赵佩华编制。图件全部由省区域地质调查队绘图组清绘。说明书英文摘要和图件英文注译由中国地质科学院南京地质矿产研究所李文达先生翻译。

目 录

前 言	
第一章 自然经济地理	(1)
第二章 地层	(3)
一、 侏罗系	(3)
二、 上第三系佛县群(Nft)	(5)
三、 第四系(Q)	(5)
第三章 岩浆活动及岩浆岩	(8)
一、 火山岩	(8)
二、 侵入岩	(10)
三、 脉岩	(16)
四、 岩浆成因	(17)
第四章 变质作用及变质岩	(19)
一、 区域动力热变质岩	(19)
二、 接触热变质作用	(22)
第五章 地质构造	(23)
一、 褶皱、断层	(23)
二、 地质构造发展简史	(28)
第六章 经济地质	(30)
一、 石料	(30)
二、 石英砂	(30)
三、 粘土	(30)
四、 温泉	(31)
五、 旅游地质资源	(31)
六、 水文地质、工程地质特征	(31)
主要参考文献	(33)
英文摘要	(34)
图版说明及图版	(42)

第一章 自然经济地理

厦门地区行政区划除小金门岛等岛屿隶属金门县外，其它均属厦门市管辖。厦门市是，我省仅次于福州市的第二大城市和港口城市，闽南地区的政治、经济、文化中心，也是旅游胜地和著名侨乡。自厦门开始建立经济特区以来，国民经济和城市建设获得了迅速发展，成为我国对外技术交流和国际贸易往来的重要窗口。

厦门地区属构造侵蚀剥蚀滨海丘陵—台地地貌区。丘陵面积小，分布在中部云顶岩、仙岳山和西部石峰岩等地，海拔最高382m，坡度20—25°。台地面积广，主要分布在图幅北部、西南部，海拔多在30m左右，一般不超过100m，呈波状起伏，其上除岩浆岩、变质岩、沉积岩残丘外，均覆盖有数米厚的灰褐色砂壤土和数十米厚的红黄色砂粘土，为主要种植区。丘陵和台地中的基岩残丘，大多岩石裸露，海蚀遗迹十分普遍，且保留完整。植被以马尾松、相思树等乔木为主，覆盖率约28%。河流多为季节性溪沟，水量小，流程短，且往往独流入海。

厦门海域位于金门湾内，东面有金门岛为天然屏障，风平浪静，水体清澈，岛屿众多，其中以厦门岛为最，方圆约128km²，北有浔江，西有厦门西港，南有鹭江、厦门港，东有厦门东侧水道。自从1956年高（崎）—集（美）海堤建成后，始成陆连岛。厦门港为天然避风深水良港，万吨巨轮可自由出入，也是我省主要渔港之一。浔江流域及厦门西港西部，沿海滩涂广阔，是良好的海产养殖区。

厦门地区属亚热带海洋性气候；冬无严寒，夏无酷暑，四季如春。年均气温20.8℃，极端最高气温38.4℃，极端最低气温2.0℃。年均降雨量1143.5mm。每年2至8月为雨季，7至9月为台风季节，风力7至10级，最大可达12级，最大风速60m/s。

厦门交通发达，有鹰（潭）—厦（门）铁路，福（州）—厦（门）公路，厦门机场，海运有直达香港的客运快轮航线等，是我国东南沿海铁路、公路、海运、空运综合运输重要枢纽和货物集散地。

农业以粮食作物——水稻、小麦、甘薯和经济作物——糖蔗、花生、大豆、油菜、蔬菜为主。水果以龙眼、荔枝、香蕉、凤梨为大宗。鸡、鸭、猪、牛、羊等家禽、家畜饲养量近年有大幅度增长。厦门海域除盛产带鱼、大小黄鱼、鱿鱼、鲳鱼、对虾外，还产中外闻名的文昌鱼、鲎等特产。牡蛎、花蛤、紫菜、对虾等人工养殖和水库淡水鱼类养殖也十分普遍。

厦门地区水利事业发达，近30多年来修建了库容量10万m³以上的中、小水库80多座，还兴建了九龙江引水工程，基本解决了厦门地区工、农业用水不足的困难。

厦门工业有机械、冶金、纺织、电力、电子、建材、化工、食品加工等工业部门，拓建有湖里加工区，扩建和改建了部分老企业，现代化生产水平和产品质量不断提高，目前有各种企业七百多家，生产两千多种产品。

作为闽南地区的科技文化中心，厦门市拥有中外闻名的厦门大学和十多所大、中专院校，以及自然科学、社会科学等研究所。

厦门还是风景如画的旅游胜地，“树不秋冬尽放花”，港不冻四季碧波荡漾，山山水水皆是景，处处山水比蓬瀛。鼓浪屿和厦门岛上的“鼓浪洞天”等古“大八景”、“小八景”、“景外景”等二十四景，大多保存完好，或已修葺、重建。其中，众多寺庙，如南普陀寺、万石莲寺、万石禅寺、天界寺等，碧瓦飞檐，团龙浮雕，气象雄伟，富有中华民族的特色；并有文天祥、戚继光、俞大猷、郑成功等古代民族英雄的活动遗迹和许多诗人、书法家艺文并茂的题刻。此外，集美鳌园、爱国华侨陈嘉庚先生旧居、归来堂、华侨博物馆、鲁迅博物馆、郑成功纪念馆等历史纪念设施，高集海堤等现代“移山填海”历史性建筑，万石植物公园、中山公园、菽庄花园、海滨浴场、海上乐园、新市区等旅游场所，吸引八方游客，招待五洲宾朋。

厦门，不愧为东海之滨的一颗明珠。

第二章 地 层

厦门地区地层露布面积约160km²，占陆地面积的74%。其中，第四系分布面积最广，次为侏罗系，第三系仅在小金门岛有小面积分布。地层划分如表1。

表 1 地层划分简表
Table 1 Stratigraphic chart

界 Erathem	系 System	统 Series			群 Group	组 Formation	段 Member	地层代号 Mark		
新生界 Cenozoic	第四系 Quaternary	全新统 Holocene	上 统 Upper	残坡积层 Eluvial- taluvial material					Qh ₂	Q ₄ -Q ₁
			下 统 Lower						Qh ₁	
		更新统 Pleistocene	上 统 Upper						Qps	
		上第三系 Neogene							佛县群 Potan Gr.	
	中生界 Mesozoic	侏罗系 Jurassic	上 统 Upper				南园组 Nanyuan Fm.	第三段 3rd Mem.	J _{3n} ^a	
下 统 Lower			梨山组 Lishan Fm.	第二段 2nd Mem.	J _{2n} ^b					
						J _{1l}				

一、侏 罗 系

主要分布于本区中部仙岳山至嵩屿等地，呈北东偏东方向带状展布，面积14.9km²，划分为下侏罗统梨山组 and 上侏罗统南园组。

1. 下侏罗统梨山组 (J_{1l})

零星露布，面积7.8km²。嵩屿、火烧屿一带出露较全，为一套总厚大于753m的湖相细碎屑岩夹陆相火山岩建造。上部为灰色、灰黑色，风化呈灰白、灰黄、紫红等色薄层、中薄层状细粒石英砂岩、泥岩，夹粉砂质泥岩和中粒杂砂岩；中部为灰色、深灰色粉砂岩、泥岩互层，火烧屿为褐黄色、灰白色中、中细、细粒砂岩、长石石英砂岩夹薄层、中厚层状泥岩；下部为片理化细砂岩、粉砂岩夹片理化流纹岩、流纹质晶屑凝灰熔岩透镜体，与混合质黑云斜长变粒岩、条痕状混合岩过渡。火烧屿为褐黄色巨厚—中厚层状中粒

杂砂岩, 中层状石英细砂岩, 夹巨厚层状片理化流纹岩、片理化流纹质凝灰岩及泥岩、粉砂岩等。

该套地层中发育透镜状层理(图1)、微细水平层理, 局部发育微斜层理、交错层理。泥岩中含次圆至次棱角状石英砂屑, 砂岩中石英砂屑多呈次棱角状, 并含5—10%的长石碎屑, 局部砂岩中含大量泥岩岩屑(图版II-1)。杂砂岩中含流纹岩等火山岩和硅质岩、霏细岩等岩屑, 分选性、磨圆度较差。岩石副矿物中多见复四方柱状双锥体火山岩型锆石及 α 磁铁矿。植物化石除少数层位保存较好外, 多数层位仅见化石碎片, 反映了水动力条件较强、同时有火山活动的较动荡环境的沉积作用。

嵩屿、火烧屿梨山组中部泥岩中所含植物主要有 *Ginkgoites cf. marginatus* (图版I-1), *Dictyophyllum nilssoni* (图版I-2), *Otozamites* sp., *Cladophlebis cf. raciborskii*, *Pterophyllum* sp., *Podozamites lanceolatus*, *Sagenopteris* sp., *Sphenobaiera* sp., *Clathropteris meniscioides*, *Nilssonina cf. gigantea* (图版I-3), *N. cf. liaoningensis*, *N. cf. orientalis*, *Ptilophyllum* sp., *Anomozamites* sp. 等, 其中 *Ginkgoites cf. marginatus*, *Dictyophyllum nilssoni*, *Clathropteris meniscioides* 等为早侏罗世常见分子。

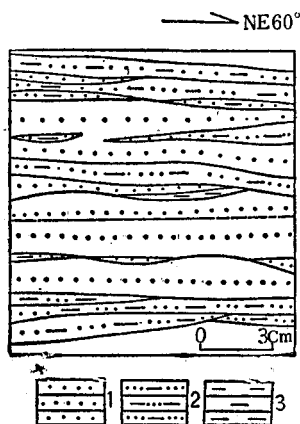


图1 厦门火烧屿梨山组细砂岩、泥质粉砂岩透镜状层理素描图

Fig.1 A sketch showing lenticular bedding of siltstone and muddy siltstone in Lishan formation, Huoshaoyu, Xiamen.

1—白色细砂岩; 2—灰绿色泥质粉砂岩; 3—灰绿色泥岩

小金门岛一带梨山组, 因沉积环境和构造环境与嵩屿、火烧屿等地不尽一致, 变质较深, 主要岩性为花岗片麻岩, 其中有白云母片岩、黑云角闪片麻岩等交代残留体, 虽然花岗片麻岩部分可能为正变质岩, 但主体岩石组合可与同一构造带的区外龙海县港尾变质岩相对比, 为一套滨海—浅海相火山碎屑沉积建造, 总厚度大于691m, 中夹较多变质中酸性火山岩和火山碎屑沉积岩夹层, 并夹数层透镜状变质砾岩。变质长石石英砂岩和片岩中残留有韵律层理、水平层理和微斜层理等, 且岩石中富含火山碎屑物以及火山岩型锆石、 α 磁铁矿等副矿物, 其沉积环境似较嵩屿等地更不稳定。

2. 上侏罗统南园组 (J_3n)

呈北东向带状分布于仙岳山—嵩屿一带, 出露面积7.1km², 为一套陆相酸性、中酸性火山岩夹火山沉积建造, 总厚度大于865m。省内共划分有四个岩性段^[1], 本区仅发育其中的第二、第三两个岩性段。

南园组第二段 (J_3n^b)

主要岩性为灰白、浅灰色流纹质晶屑凝灰熔岩, 局部含角砾, 不整合覆于梨山组之上, 总厚度大于264至388.3m。厦门狐尾山本组上部发育有以火山边缘湖相堆积为主的火山—陆源细碎屑岩沉积建造, 深灰、灰黑、灰白色薄—中厚层状含炭质、硅质及粉砂质泥岩、沉凝灰岩、豆状凝灰岩等, 与流纹质晶屑凝灰岩、流纹质晶屑凝灰熔岩、流纹英安质晶屑凝灰熔岩等构成六个喷发—沉积韵律, 各韵律厚7.4—46.5m不等。沉积层中多具微细水平层理和透镜状层理。泥岩受变质而具不同程度的片理化和角岩化。泥岩和粉砂质泥岩

中含 *Cladophlebis* cf. *browniana* (图版 I-4), *C. falcata*, *Desmiophyllum?* sp., *Phoenix-*
copsis sp., *Brachyphyllum?* sp., *Nilssonia* sp. 等晚侏罗世植物, 多为碎片, 保存较差。

南园组第三段 (J_{3n})

主要岩性为深灰色流纹英安质晶屑凝灰熔岩、凝灰岩, 夹深灰—灰黑色英安岩、熔结凝灰岩、灰白色流纹质晶屑凝灰熔岩、流纹(斑)岩, 局部夹沉凝灰岩、粉砂质泥岩等, 厚度大于447m, 喷发不整合覆盖于南园组第二段之上。本区和邻区不同火山构造部位, 可分为二至三个喷发—喷溢韵律, 各韵律厚度71.2—188.2m不等。岩石具不同程度的片理角化、角岩化。

二、上第三系佛昙群(Nft)

分布于本区东南小金门岛上, 面积0.6km²。岩性为灰黑色、暗绿色玄武岩, 厚约10m, 不整合于花岗片麻岩之上, 组成平台地形。与邻区金门岛、澎湖列岛、龙海牛头山、漳浦佛昙一带玄武岩属同一时期火山活动产物。漳浦佛昙地区, 其总厚度大于113.89^①m。其下部为滨海—海湾相砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、泥岩夹泥炭层及油页岩, 偶见琥珀、黄铁矿结核, 局部夹凝灰质砂岩。层理不显, 局部发育交错层理, 泥岩、砂岩常呈透镜状、团块状或互相过渡。产炭化木和植物 *Liquidambar europacum*, *Sterculia* sp., *Fissistigma* sp., *Paliurus* sp., *Magnolia miocenica*, *Uvaria* sp., *Desmos* sp., *Trafa* sp. 等。上部为玄武岩、气孔状玄武岩。龙海牛头山玄武岩总厚度为178.5m, 岩石类型有石英拉斑玄武岩、橄榄拉斑玄武岩和碱性橄榄玄武岩三种, 碱性玄武岩和拉斑玄武岩呈互层产出。早期喷发可细分为15个喷发—喷溢韵律, 晚期为潜火山相岩墙、岩穹、岩床等。澎湖玄武岩全岩Rb-Sr同位素年龄小于12Ma (陈培源, 1976)。小金门岛玄武岩与漳浦佛昙群上部和牛头山等地玄武岩层位相当, 时代划属晚第三纪较为恰当。

三、第四系(Q)

分布面积144.4km²。根据沉积物特征、接触关系、古孢粉、微体古生物和¹⁴C年龄等资料, 划分为上更新统、下全新统、上全新统和第四系残坡积层(未分)四个地层单位。

1. 上更新统(Qp₃)

分布于本区北部、东部和西部, 地貌上构成高于现今侵蚀基准面6—30m的Ⅱ级阶地。位于厦门新、老市区之间的筴筴港等地, 其被掩埋于全新统之下, 并不整合覆于前第四纪地层之上, 厚1m至大于12m。一般上部为砖红、灰黄色砂质粘土、中细砂, 下部为砖红、灰白色中粗砂、含砾粗砂、粘土质砾卵石层, 部分地段夹有半固结的灰黑色砂质、炭质粘土, 常具二元结构。砾卵石层多呈囊状、透镜状或似层状, 沿横向迅速相变为砂质粘土。含大量 *Hicriopteris* sp., *Polypodiaceae*, *Gramineae*, *Artemisia* sp., *Pinus* sp. 等孢粉, 以喜凉、喜干的植物孢粉占优势, 局部含有 *Concentricystis* sp., *Desmidiaceae* 等淡水藻类, 属温凉干燥气候条件下的近海河流漫滩、泻湖相沉积。¹⁴C年龄 12485±165—22530±395a。

① 福建省区域地质调查队, 1977年资料。

2. 下全新统 (Qh₁)

主要分布于筲箕港、厦门大学、钟宅、杏林、霞阳、温厝和嵩屿半岛等地。划分为海积、冲-洪积及湖积三种成因类型。地貌上一般构成高于现今海蚀基准面5m至15m的I级堆积阶地,或被掩埋于上全新统之下,与上更新统呈假整合接触。区内11个¹⁴C年龄值为4085±103—9650±265a。

1) 海相堆积 (Qh₁^m)

上部为深灰、灰黑及蓝灰色软塑淤泥,褐黄、深灰色粉细砂,含炭化红木根茎、有机质、贝壳;下部为灰绿、黄绿色砂质粘土,灰、褐灰色中细砂及含砾粗砂,局部含贝壳。厚1.5—21.84m。淤泥中含大量*Ammonia beccarii* (Linne') Vars. (图版I-5)等有孔虫,*Aurila miii* Ishizaki (图版I-6)等介形虫和*Arachnoidiscus ornatus* Ehrenberg (图版I-7)、*Phaeodactylum tricornutum* Bohlin (图版I-8)等淡水藻。通过逐层取样分析,属以海相为主的海陆交替相沉积。

2) 冲-洪积相堆积 (Qh₁^{al-pl})

上部为褐灰色砂质粘土、含砂粘土、泥质砂,下部为褐灰、灰白色含砾粗砂及砾卵石夹粘土质砂,含瓦砾。厚0.5—7m。富含*Polypodiaceae*、*Hicriopteris* sp.、*Gramineae*、*Artemisia* sp.、*Pinus* sp.、*Cyclobalanopsis* sp.、*Castanopsis* sp.等孢粉,耐旱的蒿属和喜温的锥栗属等植物孢粉交替出现。

3) 湖沼相堆积 (Qh₁^l)

仅见于厦门枋湖村南,由灰白色粉砂、中粗砂夹灰白—灰黑色炭质粘土组成,厚度大于2m。炭质粘土中含淡水圆盘藻,¹⁴C年龄5200±190a。

上述海相、冲-洪积相、湖沼相堆积物,横向上呈相变关系,一般从岸带附近以海相为主的海陆交替相堆积向台地、丘陵区转变为湖沼相或陆相堆积。

3. 上全新统 (Qh₂)

与下全新统相伴分布,地貌上共同构成I级阶地,其后缘与下全新统呈缓坡过渡,钟宅港、筲箕港等地覆盖于下全新统之上,并与其呈假整合接触。分海积和冲-洪积两种成因类型,河口部位冲-洪积层呈舌状或透镜状夹于海积层中,两者呈相变关系。

1) 海相堆积 (Qh₂^m)

灰黑—深灰色淤泥、淤泥质粘土。厦门大学一带砂质增多,以灰白、灰黄色淤泥质砂、粗砂、含砾砂等为主,含贝壳碎片。厚0.5—10.31m。富含有孔虫*Globigerina bulloides dorbigny* (图版I-9a、9b)、*Cellanthus ibericum* Limpidum (Ho. Hu et Wang) (图版I-10)、*Spiroloculina lucide* Cushman and Todd (图版I-11a、11b),介形虫*Echino cythereis* Cribriformis (Brady)、*Hemi cytherura* Cuneata Hanai等,为水深在30m以内的广盐度暖水生物群组合,混有较多禾本科、松属孢粉,属温暖海湾沉积环境。¹⁴C年龄321±200—2456±145a。

2) 冲-洪积相堆积 (Qh₂^{al-pl})

上部为灰黄色中细砂夹砂质粘土;下部为含砾中粗砂及卵砾石层,较为松散。厚度大于3m。

4. 第四系残坡积层 (未分) (Q^{el-pl})

分布于东界、杏林、霞阳及厦门岛中部等地。坡积层多为砖红色、黄红色含碎石砂质

粘土，部分如霞阳等地夹有碎石层。风化残积层上部为砖红、黄红色砂质粘土；中部为黄、紫红、白色相杂的花斑状砂质粘土，保留有原岩结构，多有大小不等的孤石和石芽；下部为黄白色、黄色粘土及碎石；底部过渡为半风化基岩。残坡积层厚度各处不同，自小于3m至大于71.6m不等，一般具面状分布，但在断层及花岗岩接触带，如仙岳山南一带厚度增大，具线性展布特征。

第三章 岩浆活动及岩浆岩

区内岩浆活动以燕山期占绝对优势，具先喷发后侵入的基本活动方式，相应形成一系列在时间、空间及成因上密切相关的火山岩、侵入岩，露布面积达59.6km²，其中火山岩占13%，侵入岩占87%。喜马拉雅期岩浆活动十分微弱，仅小金门岛有小面积出露。

一、火山岩

区内自早侏罗世始有火山活动，到上新世结束，其间晚侏罗世火山活动规模最大。

1. 早侏罗世火山岩

厦门嵩屿、火烧屿下侏罗统梨山组浅变质砂泥岩中夹有厚8m至50多m片理化流纹岩(图版Ⅱ-2)、流纹质晶屑凝灰熔岩(图版Ⅱ-3)、流纹质凝灰岩等陆相火山岩。小金门岛花岗片麻岩中角闪黑云片麻岩残留体的原岩研究不详，但与其共处于同一区域构造带的邻区龙海港尾等地之中深变质岩系中，发育有片麻状角闪黑云斜长变粒岩，SiO₂为67.7%，K₂O+Na₂O为7.59%，DF值为2.89，莫依纳图解和周世泰K-A相关图解投入火山岩区。副矿物锆石具火山岩标型特征，为中酸性火山岩。Ab-An-Or三角图解说明属过渡型火山岩系。

2. 晚侏罗世火山岩

区内晚侏罗世火山活动形成的北东偏东方向的仙岳山—嵩屿火山岩带，相当于省内晚侏罗世火山活动中期的产物。其中，南园组第二段以一套酸性火山碎屑熔岩为主，间夹酸性凝灰岩等火山碎屑岩及粉砂质泥岩等细碎屑沉积。自下而上，沉积夹层增多，反映以岩浆喷溢为主，晚期转为间歇性爆发活动。于火山岩带的中段——厦门狐尾山地区沉积夹层最为发育，往两端沉积夹层减少、变薄以至尖灭，说明同一阶段同一火山岩带不同地段受火山活动强度具较大差异。该阶段中，流纹质晶屑凝灰熔岩(图版Ⅱ-4)最为发育，呈巨厚层状分布，局部含角砾。其它如流纹岩、流纹英安质晶屑凝灰熔岩等仅呈舌状夹于流纹质晶屑凝灰熔岩中。南园组第三段以中酸性火山碎屑熔岩、熔岩为主，火山碎屑岩和泥岩等细碎屑沉积岩夹层较少，也较薄，且层位偏低，一般分布于该岩性段的中下部，底部尚发育少量角砾凝灰岩，反映本阶段岩浆活动以间歇性爆发开始，之后逐步转为岩浆溢流。溢流相斜长流纹岩和英安岩多局限于火山岩带两端的仙岳山东北部及嵩屿村西南一带。该阶段岩浆活动的特征是发育较多的流纹(斑)岩(图版Ⅱ-5)和流纹质熔结凝灰岩(图版Ⅱ-6)，前者钾长石和石英共结交生构成特殊的文象斑晶。晚期的花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩、花岗斑岩等潜火山多成岩瘤、岩墙沿火山岩带贯入，空间位置与火山岩紧密相伴，并呈线性展布，岩石外貌酷似火山岩，仅结晶程度略好，与火山岩间呈侵入或过渡接触关系。

岩石中副矿物种类丰富，以磁铁矿、钛铁矿、锆石、磷灰石、榍石为主。锆石常具板柱状复四方晶类：爆发相锆石碎晶、裂纹普遍；喷溢相多见长柱状晶体及平行连晶；潜火山相尚出现短柱状双锥晶；火山沉积相见磨圆锆石。

岩石化学特征：南园组第二段酸性火山岩 SiO_2 为 75.60%，总碱量 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 为 8.34%；第三段中酸性火山岩 SiO_2 平均 68.41%，总碱量平均 6.79%；潜火山相花岗斑岩 SiO_2 为 73.54%，总碱量 8.80%。哈克图解中，火山岩随 SiO_2 含量增高， K_2O 含量亦增高， CaO 、 MgO 含量相应降低， Na_2O 含量变化趋势不明显，同时， SiO_2 具有连续的单模式的变化特点。火山岩钙碱指数为 59， $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 对 SiO_2 变异图中成分点均落在亚碱质岩区，属钙碱性岩系。在里特曼-戈蒂里图解中投入造山带火山岩区（图 2）。火山岩和潜火山岩中石英发育有在较高温度下形成的“刃型”和“螺旋型”显微位错结构（图版 III-1），位错密度为 $11.74-13.27 \times 10^8/\text{cm}^2$ ，差应力值达 $1.59-1.72 \times 10^8 \text{Pa}$ ，反映火山岩成岩过程中处于较强的挤压环境。

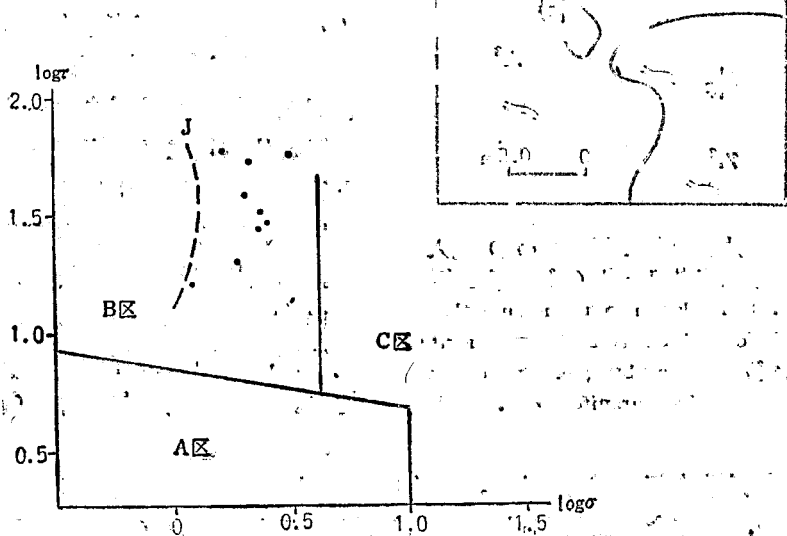


图 2 南园组火山岩里特曼-戈蒂里图解

Fig. 2 Rittmann-Gottini diagram of volcanic rocks of Nanyuan formation

A区：非造山带火山岩区；B区：造山带及岛弧火山岩区；C区：A、B区派生的碱性、偏碱性火山岩区；J：日本火山岩

$$\tau = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}}{\text{TiO}_2}, \quad \sigma = \frac{(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})^2}{\text{SiO}_2 - 43}$$

3. 晚第三纪火山岩

小金门岛晚第三纪火山岩主要为灰黑、暗绿色拉斑玄武岩。处于同一火山岩带的龙海牛头山同期火山岩，有石英拉斑玄武岩、橄榄拉斑玄武岩和碱性橄榄玄武岩三种岩石类型，分属拉斑玄武岩和碱性玄武岩两大系列。

据研究（周新民 1981，夏佳 1984），橄榄拉斑玄武岩和碱性橄榄玄武岩中，富含尖晶石二辉橄榄岩，含辉石岩、辉长岩等富辉石矿物同源包体，局部有纯橄榄岩、方辉橄榄岩包体，另还含东南沿海特有的橄榄斜长岩和鳞英铁尖晶岩包体。根据辉石温压计和 $\text{OI}'\text{-Ne}'\text{-Q}'$ 相图及该地带的地质条件分析，金门—龙海牛头山火山岩带的碱性橄榄玄武岩、石英拉斑玄武岩，是同源成分的橄榄拉斑玄武岩分别在高压 $2.4-1.8 \times 10^9 \text{Pa}$ 和低压 $3 \times 10^8 \text{Pa}$ 左右，于地壳不同深度（上地幔约 79—46km 和上地壳约 10km 左右）分离结晶形成的。由于断层切割地壳深度不同，同一火山岩带不同部位的玄武岩浆成分可能也有所差别。

二、侵入岩

区内侵入岩均属燕山期，有燕山早期太平山岩体和燕山晚期厦门、石峰岩、殿前等四个岩体。

(一) 燕山早期太平山岩体 (γ_T)

位于西部太平山至石峰岩南部，呈北东偏东方向带状展布，西南延出区外。由片麻状花岗闪长岩 (γ_T^1)、片麻状二长花岗岩 (γ_T^2) 和片麻状花岗岩 (γ_T^3) 等三个脉动侵入次组成。由于第四系覆盖，它们之间的接触关系未完全查明，仅见片麻状花岗岩侵入片麻状二长花岗岩 (图3)，且两者均侵入于上侏罗统南园组火山岩中。岩石中还常见黑云斜长变粒岩、钾长浅粒岩等变质岩 (原岩为火山岩) 包体。邻区片麻状二长花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $145 \pm 0.48 \text{ Ma}$ 。岩石多呈中粒结构，局部为中粗粒结构，普遍发育片麻状构造，局部具片麻眼球状构造。片麻理走向与岩体长轴方向一致，一般为北东 $70-80^\circ$ 。

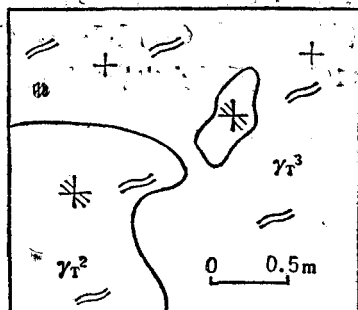


图3 片麻状中粒花岗岩 (γ_T^3) 侵入片麻状中粒花岗闪长岩 (γ_T^2) 平面素描图
Fig. 3 A sketch map showing the gneissic medium grained granodiorite (γ_T^2) intruded by gneissic medium grained granite (γ_T^3).

岩石学特征 (表2) 说明，岩浆自中酸性向酸性演化，钾长石含量明显递增，暗色矿物减少，石英含量保持相对稳定，相应的岩石化学成分 (表3) 是总碱量 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)

表2 燕山早期太平山岩体岩石学特征表

岩石名称	代号	主要矿物特征			
		钾长石	斜长石	石英	黑云母
片麻状花岗岩	γ_T^3	45—50%，为微斜长石。(-) $2\sigma = 76^\circ$ ， $\Delta = 0.8$ 。发育卡式双晶和格子状双晶，碎裂、波状消光	20—25%，为更长石。双晶不甚发育，少量具反条纹结构。碎裂、波状消光	20—25%。破碎或压扁拉长、重结晶，强波状消光	5%。为次生黑云母所取代，聚集分布
片麻状二长花岗岩	γ_T^2	35—40%，为微斜条纹长石。具卡钠复合双晶和格子状双晶，见早晶矿物包体	30—35%，为更长石。双晶不甚发育，少量见钠长石双晶和卡钠复合双晶，发育正环带构造	20—25%。破碎和波状消光，部分压扁拉长，重结晶	5%。 N_p ——淡黄褐 N_s ——暗褐。受力弯曲、撕裂，波状消光
片麻状花岗闪长岩	γ_T^1	15—20%，为微斜长石。(-) $2\sigma = 70^\circ$ ， $\Delta = 0.7$ 。双晶少见，少数具稀疏细微的分解钠长石条纹，碎裂、波状消光	20—25%，为更长石。发育钠长、卡钠、肖钠等复合双晶。常见连续正环带、韵律环带等构造。碎裂，晶形错位、双晶弯曲及波状消光	20—25%。破碎，压扁拉长，并有重结晶，波状消光	5—10%。 N_p ——淡黄褐， N_s ——深褐。多被次生黑云母取代。角闪石5—10%

表 3 燕山早期太平山岩体岩石化学成分及主要参数表

岩石名称	化 学 成 分 (%)											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂
片麻状二长花岗岩	73.55	0.23	13.46	1.01	1.57	0.064	0.60	1.67	3.45	4.36	0.097	0.06
片麻状花岗闪长岩	68.08	0.51	14.72	1.38	3.32	0.088	1.54	3.34	3.10	3.76	0.161	0.06

岩石名称	化学成分 (%)					Fe ₂ O ₃ FeO	CaO MgO	Na ₂ O K ₂ O	碱度	分异 指数	镁质 指数
	F	Cl	SO ₃	H ₂ O ⁺	总—量						
片麻状二长花岗岩	0.063	0.009	0.022	0.28	100.50	0.64	2.78	0.79	3.79	86.71	18.87
片麻状花岗闪长岩	0.106	0.020	0.065	0.50	100.75	0.42	2.19	0.82	2.23	73.22	24.68

岩石名称	C.I.P.W. 标准矿物 (%)										
	Q	Or	Ab	An	Di	Hy	Mt	Il	Ap	C	总量
片麻状二长花岗岩	31.78	25.76	29.18	7.71		3.28	1.46	0.44	0.23	0.24	100.08
片麻状花岗闪长岩	24.79	22.21	26.22	15.15	0.39	7.91	2.00	0.97	0.38		100.02

增高, FeO、MgO、CaO等组分相对贫化。然而, 化学成分中SiO₂含量升高幅度很大, 标准矿物Q、Or、Ab分子相应增高, 反映了在一定压力、温度条件下, Si、Al在钾长石晶格中重新排列, K、Na呈类质同象进入钾长石晶格, 形成具卡钠复合双晶和格子状双晶的它形微斜长石, 或包裹、交代早晶斜长石。钾长石三斜度较大(0.7—0.8), 除了岩浆含CO₂、F、SO₃、H₂O⁺等组分较高及岩体剥蚀较深诸因素外, 还与岩浆结晶的同时或稍后受较强的挤压作用有关, 参照石英发育在较高温度下形成的“刃型”和“螺旋型”显微位错结构(图版Ⅲ-2), 位错密度 $2.84—5.82 \times 10^8/\text{cm}^2$, 差应力值达 $6.22—10.00 \times 10^7 \text{Pa}$, 反映了压力对钾长石结晶的影响^[2]。岩石中副矿物以磁铁矿、锆石、磷灰石、褐帘石、榍石为主, 榍石在第三次脉动侵入体中消失。稀土元素分布模式见图10, 轻、重稀土元素比值(3.71—1.94)、La/Yb比值(18.49—7.74)、 δEu 值(0.72—0.43)降低, Sm/Nd比值(0.19—0.23)增高, 与岩浆自中酸性向酸性演化趋势一致, 并反映出岩浆具有一定的分异作用。

(二) 燕山晚期侵入岩

1. 厦门岩体 (γ_x)

分布于区内东部东界、五通至鼓浪屿一带, 长轴呈北东偏北方向带状展布。由老至新有中粒花岗闪长岩(γ_x^1)、不等粒含黑云母花岗岩(γ_x^2)、中粒花岗岩(γ_x^3)、不等粒黑云母花岗岩(γ_x^4)和细粒花岗岩(γ_x^5)等五次脉动侵入体。其中以第三次脉动侵入的中粒花岗岩规模最大, 黑云母K-Ar同位素年龄为108.2Ma。第一次脉动侵入的中粒花岗闪长岩分布于岩体的外围, 黑云母K-Ar同位素年龄为113.2Ma。其它各次脉动侵入体均呈小岩瘤状分布于岩体的中部云顶岩及香山、黄厝西北一带, 第五次脉动侵入体白云母K-Ar年龄为103.4Ma。空间上, 晚期岩浆具有向岩体中部退缩的特点。各次脉动侵入体间, 除第

二次脉动侵入体与第一次脉动侵入体未见到接触关系外, 其它各次脉动侵入体间多呈侵入接触(图4), 局部具有过渡关系。过渡带矿物粒度变化不大, 仅具矿物成分的差别。岩体东北部边缘, 于东界等地第三次脉动侵入中粒花岗岩中发育有大量的暗色包体。包体边缘呈棱角状、蝌蚪状(图版Ⅲ-3)。岩体中段如厦门虎仔山等地, 第二次脉动侵入不等粒含黑云母花岗岩和第三次脉动侵入中粒花岗岩, 岩石中矿物常压扁、拉长, 定向分布。从蝌蚪状包体和岩石的矿物定向分布所反映的叶理具线性展布特点, 表明岩浆在侵入过程中, 局部恰好位于长期活动的断层带中, 因而受到较强的韧性剪切^[3]。

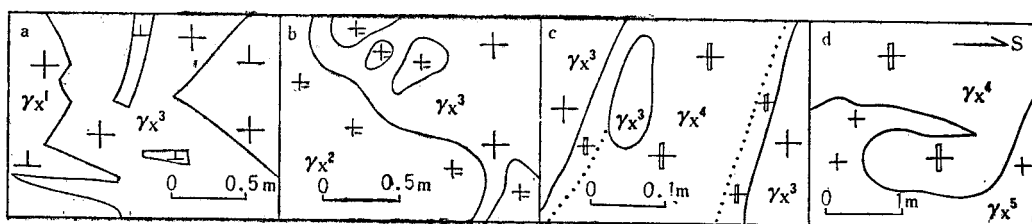


图4 厦门岩体不同脉动次侵入体接触关系素描图

Fig. 4 A sketch showing the contact between intrusions of different pulsation phases in Xiamen intrusive body.

a—中粒花岗岩(γ_{x^3})侵入中粒花岗岩闪长岩(γ_{x^1})(平面); b—中粒花岗岩(γ_{x^3})侵入不等粒含黑云母花岗岩(γ_{x^2})(平面); c—不等粒黑云母花岗岩(γ_{x^4})侵入中粒花岗岩(γ_{x^3})(平面); d—细粒花岗岩(γ_{x^5})侵入不等粒黑云母花岗岩(γ_{x^4})(剖面)

岩石学特征(表4)和岩石化学成分(表5)表明, 从第一次至第五次脉动侵入之岩浆, 具有自中酸性向酸性演化的总趋势, 钾长石明显增高, 斜长石和黑云母略有减少, 石英含量基本保持稳定。岩石化学成分随 SiO_2 含量的递增, 碱度上升, 镁质指数下降。但第四次脉动侵入不等粒黑云母花岗岩, 不论是矿物或岩石化学成分都具有偏中酸性的波动, 反映岩浆演化具有波动性, 国外花岗岩区的单元-超单元填图中亦发现类似情况。第一次至第五次脉动侵入体标准矿物分子 Q 、 Or 、 Ab 亦具相似变化。然而, 标准矿物分子 Ab 和岩石中 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值, 较太平山岩体为高, 反映 Na 除了以类质同象进入钾长石晶格, 形成卡式双晶、格子状双晶的微斜长石外, 部分还交代钾长石形成净边结构(图版Ⅲ-4)。此外, 钾长石的三斜度不仅较太平山岩体高, 而且也较华南同期花岗岩类大^[4], 出现最大微斜长石, 这些特征, 与芬兰学者 V. marmo 等人划分的同运动花岗岩特征相当。该岩体较高的均一温度(700—850℃), 显然不利钾长石的有序化, 但石英“刃型”、“螺旋型”显微位错结构(图版Ⅲ-5)、位错密度($2.61\text{--}5.22 \times 10^8/\text{cm}^2$)和差应力值($5.88\text{--}9.29 \times 10^7\text{Pa}$)所反映的较高应力场, 是岩浆结晶过程中或稍晚时期促使钾长石三斜度偏大的主要因素, 岩石中矿物, 特别是石英的塑性变形, 也反映了这一特点。岩石中副矿物以富含磁铁矿、钛铁矿、锆石、独居石和铁铝榴石为特征, 同时随岩浆自中酸性向酸性演化, 副矿物种类增多, 出现黑稀金矿、钇易解石、磷钇矿、钍石等稀有矿物, 四方晶类锆石明显增加, 但各次脉动侵入体中均含玫瑰色磨圆锆石。微量元素中 W 、 Sn 、 Bi 、 As 、 Sb 呈规律性降低, Mn 、 Sc 、 Cu 、 Cd 、 Ge 、 Th 具规律性增高, 与岩浆演化趋势相一致。岩体的稀土元素分布模式(图5)和轻、重稀土元素比值(3.61—0.64)及 δEu 值(0.80—0.094)系统地降低, 且分异指数高, 反映岩浆具较强的分异作用。

表 4. 燕山晚期岩体岩石学特征简表

岩体	岩石名称	代号	主要矿物、含量(%)及典型特征		
			钾长石	斜长石	石英
殿前岩体	细粒花岗岩	γ_b^3	40—50。为微斜长石。 $(-)2v = 76$, $\Delta = 0.8$, 部分发育卡式双晶	20—25。为更长石, 常见钠长石聚片双晶和卡钠复合双晶, 少数具环带构造	20—25。微波状消光 1—2。 N'_b ——淡黄, N'_g ——红褐
	似斑状含黑云母二长花岗岩	γ_b^1	34—40。主要为微斜长石, $(-)2v = 52-62$, $\Delta = 0.2-0.5$, 部分发育卡式双晶, 似斑晶中见早期斜长石包体	25—45。为更长—中长石, 常见钠长石聚片双晶和卡钠复合双晶	2—3。 N'_b ——淡黄褐, N'_g ——深褐, 包裹有锆石、榍石等
石峰岩体	细粒花岗岩	γ_{an}^2	40—50。部分发育卡式双晶和格子状双晶, 发育分解钠长石条纹	20—25。双晶不甚发育, 部分见钠长石聚片双晶, 卡钠复合双晶, 局部碎裂	1—2。 N'_b ——淡黄褐, N'_g ——深褐
	中细粒花岗岩	γ_{an}^1	50—55。为微斜长石, $(-)2v = 60-71$, $\Delta = 0.8-0.9$, 部分发育卡式双晶和格子状双晶, 碎裂微波状消光	15—20。为更长石, 具钠长、卡钠等双晶, 发育环带构造, 碎裂、波状消光	2—3。 N'_b ——淡黄褐, N'_g ——深褐
厦门岩体	细粒花岗岩	γ_x^5	50—55。为微斜长石, $(-)2v = 78$, $\Delta = 0.9$, 部分发育卡式双晶和格子状双晶	20—25。为更长—中长石, 发育钠长石聚片双晶和卡钠复合双晶	<1 。 N'_b ——淡黄褐, N'_g ——深褐
	不等粒黑云母花岗岩	γ_x^4	40—45。为微斜长石, $(-)2v = 78$, $\Delta = 0.9$, 部分发育卡式双晶和格子状双晶	20—25。为中长石, 双晶不甚发育, 主要有钠长石聚片双晶和卡钠复合双晶, 少数具连续正环带构造	5。 N'_b ——淡黄褐, N'_g ——深褐, 被熔蚀, 包裹有锆石等
	中粒花岗岩	γ_x^3	50—55。为微斜长石—最大微斜长石, $(-)2v = 71-87$, $\Delta = 0.9-1$, 部分发育卡式双晶和格子状双晶	15—20。为更长石, 双晶较发育, 常见钠长石聚片双晶和卡钠复合双晶, 少数具环带构造	1—2。 N'_b ——淡黄褐, N'_g ——深褐
	不等粒含黑云母花岗岩	γ_x^2	40—45。为微斜长石, $(-)2v = 78$, $\Delta = 0.9$, 部分发育卡式双晶和格子状双晶	20—25。为更长石, 双晶不甚发育, 部分具钠长石聚片双晶和卡钠复合双晶	3—5。 N'_b ——淡黄褐, N'_g ——深褐, 常包裹有锆石等, 部分聚集分布
岩体	中粒花岗岩闪长岩	γ_x^1	15—20。少数具卡式双晶, 有些具不很发育的格子状双晶	45—50。为中长石, 具钠长石聚片双晶和卡钠复合双晶, 普遍具连续正环带构造	3—5。 N'_b ——淡黄褐, N'_g ——深褐, 常包裹有锆石等 角闪石含量2—3