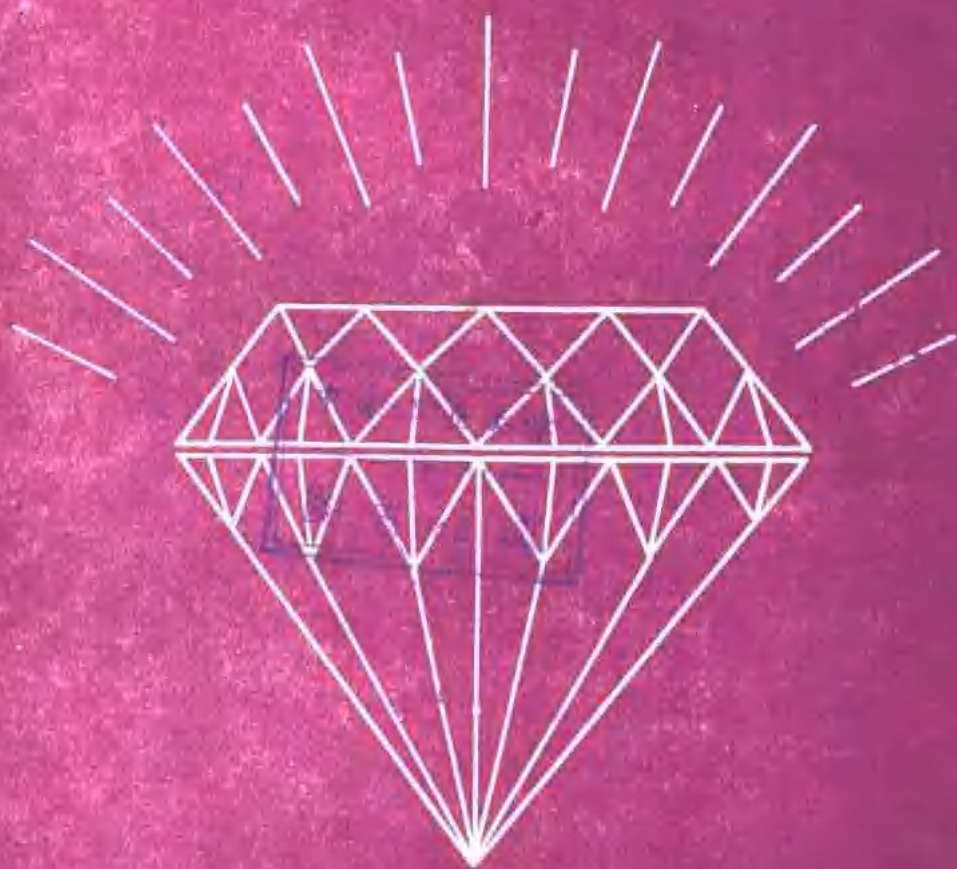


673217



海南岛北部火山 岩中宝石及其伴 生矿物标型特征

石桂华 张如玉 著



北京科学技术出版社

7319

H

海南岛北部火山岩中宝石 及其伴生矿物的标型特征

石桂华 张如玉 著

北京科学技术出版社

内 容 简 介

海南蓬莱地区是我国重要的蓝宝石产地之一。本书详细论述了蓝宝石、红锆石和它们的伴生矿物的矿物学特征，并与其它成因类型的相应矿物进行了对比，探讨它们的标型特征和找矿意义。首次在该地区发现了红宝石，为扩大矿床经济价值展示了前景。通过对矿物包裹体的研究，为宝石成因提供了重要数据。作者还总结了火山岩和二辉橄辉岩包体的岩石学、岩石化学、矿物学等特征，探讨了蓝宝石砂矿的主要物质来源和可能的原生矿含矿层位，以及火山岩含矿的标志。

海南岛北部火山岩中宝石及其主要伴生矿物的标型特征

石桂华 张如玉 著

*

北京科学技术出版社出版
(北京西直门外南路19号)

通县建新印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本4.75印张 111千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷

插页3页

印数1—2000册

ISBN7-5304-0295-1/T52

定价：1.90元

前 言

海南蓬莱地区是我国重要的蓝宝石产地之一。该矿床处于我国南部沿海开放地区，其经济价值尤为重要。

广东省地质矿产局海南地质大队多年来对该地区进行了普查、勘探和研究，积累了大量地质资料和数据。随着野外地质工作的进展，对矿床地质特征、物质组分、形成条件和找矿方向的认识也越来越深入和全面。在“六五”期间，地质矿产部及时列出《广东琼北地区与火山岩有关的蓝宝石矿床成矿特征及分布规律的初步研究》科研项目。本书是该项目中的一个次级课题的报告的主要内容。该课题的任务是研究宝石、玉石的矿物共生组合和主要伴生矿物的标型特征，为研究矿床形成的物理化学条件提供依据，为地质找矿提供矿物学标志。在研究过程中，应海南地质队要求，协助对火山岩做了一些研究。

该项研究工作在1982年开始酝酿，1983年5月批准课题设计书，并于同年和1985年两次进行了野外地质调查，系统地采集了火山岩剖面标本和4个重砂大样。为了对比，还收集了福建明溪、河北张家口等地区的有关资料。至1985年12月提交科研报告，历时两年零七个月。

这项研究工作是在前人工作基础上进行的。早在1977年，海南地质队提交的蓬莱地区蓝宝石普查报告中，就对宝石及其伴生矿物作了初步总结；1982年，又根据历年积累的资料，对宝石及其伴生矿物的矿物学特点进行了较全面的总结。1980年，南京大学地质系对蓬莱地区玄武岩作了初步研究。这些工作，为今天的进一步深入研究打下了一定的基础。这项研究工作，自始至终都得到了海南地质大队的支持和帮助，许多工作都是与海南地质队同志一起完成的。因此，这项研究成果是一份集体劳动的结晶。

通过这次研究获得了以下成果：

(1) 详细地论述了蓝宝石的矿物学特征，将蓝宝石按颜色定性、定量地分为四类，探讨了颜色形成的原因。

(2) 发现了红宝石，并对其矿物学特征进行了详细研究，为扩大矿床经济价值提供了前景。

(3) 详细地论述了主要伴生矿物——锆石、钛磁铁矿、钛铁矿和铬铁矿等的矿物学特征，以及它们的标型特征，提出了它们的找矿意义。

(4) 首次对蓬莱宝石包裹体进行了全面研究，发现铌铁矿、磁铁矿和黄铁矿等固体包裹体，对气液包裹体进行分类和测试；为宝石形成的温压等物理化学条件和成因提供了重要的资料。

(5) 论述了蓬莱二辉橄榄岩包体的岩石学特征和矿物学特征，并与福建明溪等地二辉橄榄岩包体进行了对比，阐明了它们的同异点。

(6) 通过对火山岩的研究，推断了蓝宝石砂矿的主要物质来源，以及可能的含矿层位。

整个研究工作是在矿床地质研究所和海南地质大队领导下完成的，在工作过程中，一直得到矿床地质研究所宋叔和名誉所长、蒋溶、陈正和黄蕴慧先生的关怀和指导，各处、室大力帮助和支持，以及陕西省地质矿产局实验室、化学工业部化学矿山地质研究院、冶金部矿冶研究院、中国科技大学七系、地质矿产部宝石鉴定研究室等单位大力协助，在此一并致谢。由于我们的业务水平和工作经验有限，不妥之处在所难免，请读者批评指正。

目 录

前言

一、蓬莱地区地质概况.....	(1)
二、火山岩岩石学和岩石化学特征.....	(3)
(一) 主要火山岩岩石学特征	
(二) 火山岩岩石化学特征	
(三) 同源包体的岩石学和矿物学特征	
三、宝石矿物.....	(23)
(一) 刚玉	
(二) 锆石	
四、宝石伴生矿物和它们的标型特征.....	(49)
(一) 伴生矿物的种类、含量和组合特点	
(二) 主要伴生矿物的特征	
五、宝石的包裹体研究.....	(60)
(一) 包裹体的分类和特点	
(二) 固体包裹体的矿物学特征	
(三) 气液包裹体的成分	
六、宝石形成温度和压力的探讨.....	(64)
(一) 宝石形成温度问题	
(二) 宝石形成压力问题	
结语.....	(65)
参考文献.....	(66)
外文摘要.....	(68)
图版说明及图版.....	(70)

一、蓬莱地区地质概况

蓬莱地区位于雷琼凹陷的南翼，海南新生代火山岩带的东段。该火山岩带受东西向王五—文教深断裂和南北向琼山—石盆断裂，铺前—烟塘断裂控制；在岩性上，以玄武岩和火山碎屑岩为主，呈岩被状覆盖在中生代第二期花岗岩之上。

蓬莱地区出露的地层很简单，除了沿水系、沟谷和山坡分布的第四系外，均为第三纪火山岩(图1)。火山岩组成开阔的向斜和背斜。北东向和北西向两组断裂交汇部位常控制火山机

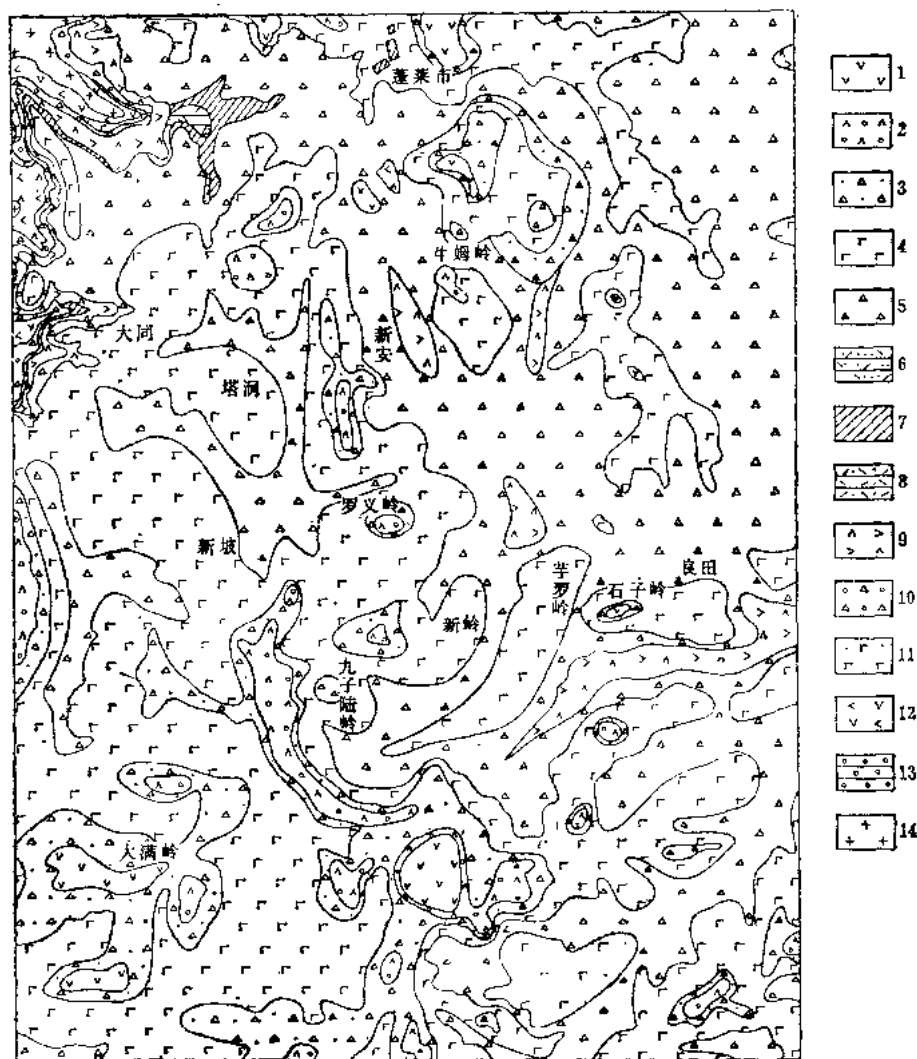


图1 蓬莱蓝宝石矿床地质略图(据海南地质队资料简化)

1—第14层粗玄武岩 2—第13层辉斑橄榄玄武岩 3—第12层火山碎屑岩 4—第11层橄榄玄武岩 5—第10层火山碎屑岩 6—第9层火山凝灰质砂岩和砾岩 7—第8层褐铁矿和赤铁矿 8—第7层高岭土化凝灰岩 9—第6层玻基辉橄岩 10—第5层火山碎屑岩 11—第4层橄榄玄武岩 12—第3层玻基辉橄岩 13—第2层含油粘土岩和砾岩 14—花岗岩

构的产出。火山活动属中心式和裂隙中心式喷发。海南地质队根据地层层序和岩性特征，划分出五个火山喷发旋回，共14层，如图2所示。除了第一喷发旋回为玻基辉橄岩外，其它各个旋回基本上都是从火山沉积碎屑岩开始，经火山碎屑岩到熔岩结束，在岩性上变化不很大。每个旋回火山岩层的厚度在20~70m以上，说明当时构造—岩浆活动比较频繁。

在火山岩层之上，常覆盖着由其风化而形成的红色粘土层，其厚度为0.3~40m，特别是沿水系和沟谷厚度较大。研究区内的矿产，包括蓝宝石、红锆石矿都与火山岩有关，产在残积和冲积层中。除了宝石矿外，还产出有钛铁矿、铬铁矿、铝土矿和膨润土等矿产。

时 代	层号	代号	柱状图	厚度 (m)	岩 性	喷发旋回
新 生 代	14	β_8^1	v v v v v v v v v v	>20	粗玄岩	5
	13	β_8^2	△ △	>30	辉斑橄辉玄武岩	
	12	β_8^3	△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △	>20	火山碎屑岩	
	11	β_8^2	r r r r r r r r r r r r	>15	橄辉玄武岩	4
	10	β_8^3	△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △	>15	火山碎屑岩	
	9	N_2^{1-2}	△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △	>6	火山凝灰质砂岩	
	8	N_2^{1-1}	△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △	0.10	褐铁矿	
	7	β_8^1	> △ > < △ <	2.77	高岭土化凝灰岩	3
	6	β_8^2	△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △	15.39	玻基辉橄岩	
	5	β_8^3	r r r r r r r r r r r r r r r r	1.46	火山碎屑岩	
	4	β_8^1	r r r r r r r r r r r r r r r r	14.11	橄辉玄武岩	2
	3	β_8^1	< v < v < v v < v v < v	14.88	玻基辉橄岩	
	2	N_1^{1-1}	△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △	2.34	含油粘土岩，砾岩	
	1	β_8^0	> △ > < △ <	15.49	玻基辉橄岩	1

图 2 蓬莱地区新生代火山岩地层柱状图(据海南地质队资料)

二、火山岩岩石学和岩石化学特征

区内火山岩可以分为两类：一类是火山碎屑岩；另一类是熔岩，即玻基辉橄岩、橄榄玄武岩、辉斑橄榄玄武岩和粗玄武岩等。它们都不同程度地遭到风化作用，给深入研究带来了一定困难。

(一) 主要火山岩岩石学特征

凝灰角砾岩 呈褐灰色，角砾状构造，由火山角砾、岩屑、晶屑和凝灰质物质组成。角砾和岩屑大小不一，大者可达 $20 \times 10 \text{ cm}$ ，一般 $0.5 \sim 7 \text{ cm}$ ，呈棱角状和次棱角状。角砾和岩屑的成分有：橄榄玄武岩（含量 $30 \sim 40\%$ ），辉斑橄榄玄武岩和花岗岩（ $< 1\%$ ），偶见石英岩岩屑。晶屑成分有：橄榄石（ $8 \sim 15\%$ ）、辉石（约 1% ）、石英（ 5% ）和长石（ $< 2\%$ ），偶见磁铁矿、钛磁铁矿和钛铁矿晶屑。角砾和岩屑的总含量约为 $45 \sim 65\%$ ①。胶结物为凝灰质物质和火山灰。有的地方，角砾含量很少，凝灰质物质增多，而转变为玄武质角砾凝灰岩或者凝灰岩。它们大多强烈风化；风化后，岩石种属往往难以准确确定，故常统称之为火山碎屑岩。风化岩石呈白褐色、褐黄色，橄榄玄武岩角砾和岩屑，以及橄榄石和辉石晶屑绿泥石化、伊丁石化和褐铁矿染，但是斑状结构有时尚可辨认；长石泥化。强烈风化的火山碎屑岩呈土状，差热分析②表明，碎屑形态常常主要由伊利石、高岭石、一水铝石和三水铝石、褐铁矿等混合组成。

玻基辉橄岩 是1、3、6层的组成岩石，见于蓬莱圩附近。根据海南地质队资料，岩石呈暗灰—灰褐—灰黑色，致密块状，斑状结构。斑晶由普通辉石、橄榄石和少量斜长石等组成。基质具玻基微晶结构，由单斜辉石、斜方辉石、橄榄石和玻璃质组成。在前几个矿物的微晶晶粒间分布着已脱玻化的玻璃质，以及粉末状磁铁矿。此外，尚见有磷灰石、钛磁铁矿等副矿物。我们在这次工作中并未见到玻基辉橄岩，对矿区内这几层岩石研究发现，它们无论在岩石学特征上还是在岩石化学成分上均属橄榄玄武岩（图版I，照片1~4）。

橄榄玄武岩 是第4、11层的组成岩石，呈灰—灰黑色，致密块状，斑状结构。岩石气孔发育，孔径 $2 \sim 3 \text{ mm}$ ，但分布不均，气孔中大多有充填物，气孔中的充填物有长石、石英、绿泥石、沸石、碳酸盐等（图版I，照片5~8）。斑晶由橄榄石和普通辉石组成，有时有少量斜长石斑晶。橄榄石呈浅绿色，自形一半自形晶，粒径在1毫米左右，个别达2毫米，含量 $3 \sim 7\%$ ，大多蚀变成伊丁石和绿泥石（图版II，照片9）。单斜辉石呈浅褐色，自形晶一半自形晶，粒晶 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$ ，个别达 1.4 mm 左右，含量 $2 \sim 4\%$ ，常有环带结构（图版I，照片3）。有的晶粒边缘有暗色反应边，中部浑浊。斜长石（ $An_{33 \sim 45}$ ）③呈板条状（图版II，照片10），大小在 $0.8 \times 0.1 \sim 2.1 \times 0.6 \text{ mm}^2$ 左右，含量 $1 \sim 2\%$ ，有的有双晶，有的泥化。基质具微晶间粒结构，由单斜辉石、橄榄石、斜长石和磁铁矿等组成；在细小的板条状斜长石晶粒间充填辉石和暗色矿物微晶，后者常蚀变成绿泥石、蛇纹石、伊丁石等。基质中新

①角砾和岩屑含量在标本光面上用方格法统计，晶屑含量在镜下用直线法统计。

②由中国地质科学院矿床地质研究所郑立坤分析。

③用费氏台测定，以下均同，故从略。

斜长石的牌号为 An50~60, 为中长石到拉长石, 基质中的斜长石成分要比斑晶成分更基性。

辉斑橄榄玄武岩 是第13层的组成岩石, 它们和橄榄玄武岩的特征十分相似, 呈灰黑色, 致密块状, 斑状结构。斑晶以斜方辉石和橄榄石为主, 少量斜长石。斜方辉石呈大小不一的自形晶一半自形晶, 有的呈碎屑状, 粒径0.15~5mm, 个别达20~30mm, 含量2~6%。斜方辉石晶粒边缘常具有熔蚀现象, 晶粒内部裂纹发育。有的辉石边缘被绿泥石交代, 而中部变浑浊。橄榄石呈自形晶, 有的被熔蚀呈蚕豆状, 粒径0.2~0.8mm, 含量1~2%; 晶粒中裂纹发育, 沿裂纹被绿泥石和蛇纹石交代, 有的被伊丁石交代。斜长石 (An58~64) 呈细板条状, 大小在0.5~2毫米, 含量约1%左右。基质具微晶交织结构或微晶间粒结构, 由斜长石、斜方辉石和橄榄石等组成。细小板条状斜长石微晶密集交织, 其间充填着微粒斜方辉石、橄榄石和较多的细粒磁铁矿, 它们的粒径多小于0.1mm, 有时还见有少量绿泥石、蛇纹石和伊丁石。

粗玄岩 是第14层的组成岩石, 呈灰黑色, 致密块状, 粗玄结构和似斑状结构。岩石主要由斜长石、辉石、橄榄石、磁铁矿和火山玻璃组成 (图版II, 照片11)。斜长石 (An40~55, 个别为34), 呈板状、板条状, 大小在0.5~2.5×0.2×1.0mm²左右, 含量在5~10%; 具有聚片和简单双晶, 有的具有环带结构 (图版II, 照片12)。由于斜长石晶粒粗大, 散布在粒度相对较小的辉石和火山玻璃中, 形成似斑状结构。在大多数情况下, 斜长石交织排列, 其间夹有辉石、橄榄石、磁铁矿和火山玻璃, 组成典型的粗玄结构。辉石有两种: 斜方辉石和单斜辉石。斜方辉石呈短柱状自形晶或半自形晶, 粒度0.2~0.6mm, 含量17%左右。单斜辉石多呈半自形—他形晶, 粒径0.2~0.5mm, 局部达0.8mm, 含量12~15%左右, 有时见有环带结构。橄榄石呈圆粒状晶粒, 粒径一般较小, 在0.1~0.3mm, 个别达0.4~0.5mm, 含量2~4%左右, 沿晶体裂隙和边缘常有伊丁石化。火山玻璃呈棕色, 散布在斜长石、辉石晶粒之间, 有些已脱玻化, 形成了针状磷灰石晶体。磁铁矿呈自形一半自形晶, 晶粒大小在0.05~0.30mm; 有些是粉尘状集合体, 明显与蛇纹石化橄榄石或者与蚀变的辉石密切共生, 可能是暗色矿物蚀变的产物。

(二) 火山岩岩石化学特征

1. 主要化学组成特征

矿区玄武岩的化学分析结果列于表1。为了对比, 表中还列入了雷琼地区、福建和台湾的玄武岩资料。岩石化学分析结果按CIPW方法进行换算, 其结果列于表2。

从表1中可以看出, 本区玄武岩与雷琼地区玄武岩的平均化学成分基本上是一致的, SiO₂含量变化在46.39~53.80%, Al₂O₃含量变化在12.29~15.89%, TFeO含量变化在8.93~11.60%, MgO含量变化在4.30~7.54%, CaO含量变化在5.43~8.54%, K₂O+Na₂O总量变化在3.28~5.40%。与福建的新生代玄武岩化学成分相比, 本区玄武岩的主要组分变化范围要小, 说明本区玄武岩种类相对较简单。与中国玄武岩平均化学成分相比, 本区玄武岩的SiO₂偏高, Al₂O₃、CaO和K₂O略低。

在SiO₂—logAR图上可以看出, 本区橄榄玄武岩、拉斑玄武岩和粗玄岩基本上属钙碱质系列, 碱性玄武岩属于碱质系列, 而辉斑橄榄玄武岩和玻基辉橄岩属强碱质系列 (图3)。与福建玄武岩相比, 拉斑玄武岩投影点位置与龙海地区拉斑玄武岩投影点分布区大致相当。橄榄玄武岩投影点位置偏向福建明溪地区, 在左上方, 主要属钙碱质系列, 仅少数落在碱质系列中, 即它们的SiO₂含量偏高, 碱度率偏低, 大致相当明溪的辉石玄武岩投影点分布区, 这

说明本区橄榄玄武岩中含辉石较多,不同程度的蚀变可能也是引起这种差异的另一个原因。本区玻基辉橄岩投影点位置与福建玻基辉橄岩投影点分布区基本上是一致的。因此,在图3中, SiO_2 含量降低,碱度率增大,显示出拉斑玄武岩→橄榄玄武岩→粗玄岩→碱性玄武岩→玻基辉橄岩成分顺序变化趋势。

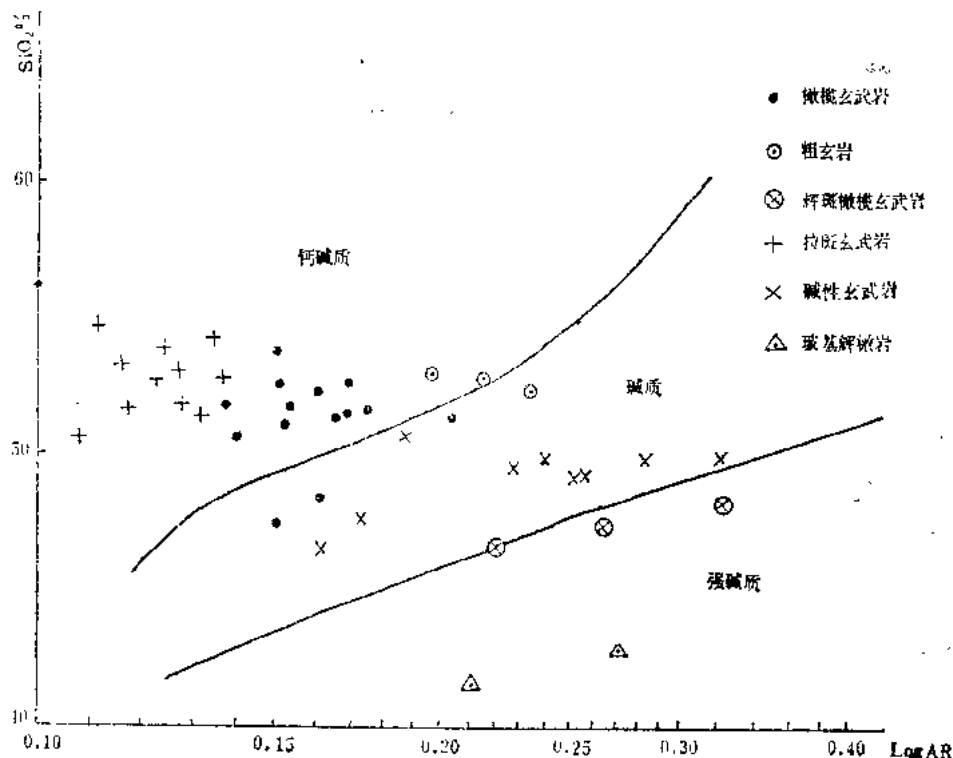


图3 SiO_2 -logAR图解

钙碱质系列玄武岩的成分,在FAM图中可以明显地分为拉斑玄武岩和钙碱质玄武岩(图4),后者即是橄榄玄武岩。

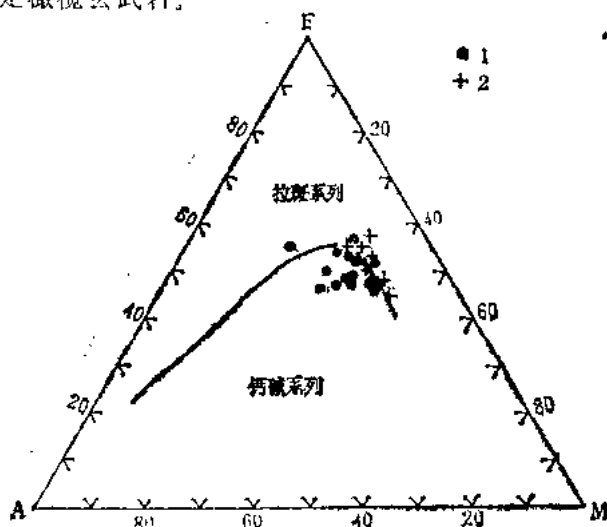


图4 钙碱质玄武岩的FAM图解

1—橄榄玄武岩 2—拉斑玄武岩

表 1 玄武岩的化学成分 (wt %)

顺序号	地区和岩性	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	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	总计	资料来源
1	相玄武岩 (第14层)	52.50	2.12	14.13	2.56	7.85	0.15	6.40	8.01	2.83	0.92	0.25	0.25	0.82	0.46	99.25	
2		52.22	1.97	15.22	6.88	3.91	0.15	4.30	5.43	3.90	1.50	0.34	0.04	1.60	2.08	99.54	
3	辉斑辉橄玄武岩 (第13层)	46.39	1.39	15.89	3.70	7.61	0.15	7.81	6.22	2.76	1.39	0.67	0.56	2.86	0.86	98.26	
4		48.01	2.53	12.20	3.75	7.91	0.14	11.13	6.57	3.25	2.03	0.38	0.033	0.96	0.49	99.403	
5	橄橄玄武岩 (第11层)	53.80	2.00	13.85	2.35	6.81	0.13	6.09	7.67	2.68	0.98	0.27	0.37	0.98	1.56	99.54	
6		49.20	2.53	12.29	6.68	5.59	0.13	7.05	7.25	3.30	1.97	0.74	0.066	1.04	1.46	99.296	
7	橄橄玄武岩 (第4层)	50.34	1.81	13.62	1.55	10.13	0.21	6.45	8.08	2.84	0.68	0.26	2.06	1.02	0.32	99.37	
8		51.70	1.95	14.58	2.93	7.98	0.14	7.03	6.31	2.76	0.52	0.26	0.004	2.32	1.14	99.624	
9	橄橄玄武岩 (第6层) (第3层) (第1层)	47.44	2.29	13.94	2.68	8.50	0.27	7.54	8.54	2.92	1.62	0.68	0.94	0.98	0.86	99.20	
10		30.54	4.10	22.96	22.45	1.69	0.112	0.57	0.42	0.049	0.18	0.76	0.37	10.60	4.46	99.261	
11		40.00	3.52	21.85	15.06	0.41	0.026	0.62	0.64	0.004	0.05	0.33	0.28	9.48	7.08	99.35	
12	粗玄武岩	53.21	1.82	12.96	8.25	4.71	0.14	5.65	7.98	3.37	1.26	0.21				99.56	①
13	辉斑辉橄玄武岩	49.28	2.62	12.55	5.54	6.15	0.17	6.89	8.54	3.22	1.28	0.29	0.61	1.52	0.59	99.25	
14	橄橄玄武岩	51.01	1.67	15.43	4.07	7.11	0.15	6.16	8.71	3.21	1.37	0.37		0.76		100.02	
15	碱性橄橄玄武岩 (10个平均)	48.77	1.81	15.08	2.56	8.43	0.14	7.76	8.60	3.31	1.33	0.37	0.22	1.47		99.89	
16	拉斑玄武岩 (12个平均)	52.87	1.59	14.82	2.72	7.77	0.14	6.72	8.64	2.95	0.55	0.17	0.20	0.71		99.86	
17	玻基辉橄岩	42.30	2.50	11.93	8.33	6.93	0.30	9.56	10.48	3.05	1.69	0.35		1.69		99.11	

续表 1

顺序号	地区与岩性	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	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	总计	资料来源
18	福建	粗玄武岩 (3个平均)	53.60	1.75	14.57	3.03	6.81	0.15	6.78	8.49	2.76	0.79	0.32			99.05	②
19		安山玄武岩 (1个样)	50.96	0.94	16.14	5.54	3.65	0.13	4.31	5.28	5.14	3.91	0.76			96.96	
20		辉石玄武岩 (2个平均)	53.43	2.02	14.03	3.72	6.52	0.16	6.85	8.06	2.89	1.01	0.40			99.03	
21	建	橄辉玄武岩 (9个平均)	46.99	2.02	11.98	3.73	8.79	0.16	10.68	9.59	2.98	1.59	0.70			99.21	②
22		拉斑玄武岩 (7个平均)	53.57	1.50	15.56	3.03	6.66	0.17	7.36	8.37	2.45	0.56	0.18			99.41	
23		玻基橄辉岩 (12个平均)	41.89	3.08	11.53	5.39	8.36	0.18	12.49	10.35	2.79	1.66	1.52			99.24	
24	台湾新竹	方沸岩玄武岩 (2个平均)	42.43	1.96	13.30	3.86	8.13	0.11	12.40	9.62	3.44	1.02	0.53	3.14		99.94	③
25		橄辉玄武岩 (1个样)	47.42	0.72	13.88	3.83	8.26	0.18	8.76	9.13	3.55	1.44	—	2.60		99.57	
26		碱性玄武岩 (2个平均)	47.57	0.35	12.66	3.31	4.82	0.18	15.42	7.26	2.62	3.73	—	1.65		99.57	
27	戴里玄武岩平均值		49.06	1.36	15.70	5.38	6.37	0.31	6.17	8.95	3.11	1.52	0.45	1.62			
28		戴里玻基橄辉岩平均值	41.25	1.59	12.03	5.65	7.29	0.54	11.22	11.88	3.40	1.30	0.65	3.20			
29		中国玄武岩平均值 ^④	48.28	2.21	14.99	4.18	6.95	0.20	7.00	8.07	3.40	2.51	0.60	1.26			

资料未注明来源的是作者资料,由中国地质科学院岩矿测试研究所刘素明、苏幼奎分析。

①据南京大学地质系岩矿组资料; ②据文献[6]; ③据文献[1]; ④据文献[3]。

无论是碱质系列玄武岩，还是钙碱质系列玄武岩，在它们的成分中 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值在 0.2~0.7。换算后的图解表明它们都是钠质系列岩石（图5）。

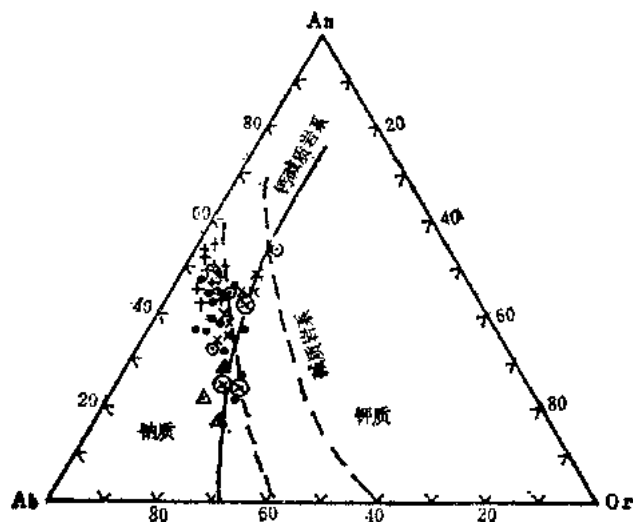


图 5 An—Ab—Or 图解 (图例同图 3)

蓬莱地区新生代火山活动虽然可以分为若干旋回，火山岩有从碱质玄武岩向钙碱质玄武岩演化趋势，但是这种变化总的来说是很小的。从岩石的标准矿物：An、Ab、Or 相对变化（图5）可以看出，碱质玄武岩的投影点分布近于Ab—Or线的Ab一侧，而钙碱质玄武岩的投影点分布近An—Ab的中部，在这两者之间投影点几乎呈线状延伸，这说明玄武岩浆演化的途径有由富钠钾向富钠钙方向演化的趋势。但是，这一演化还只是处于碱质—钙碱质阶段。Q—Ab—Or 相对变化（图6），从另一角度说明这个问题；碱质玄武岩投影点几乎全位于Ab—Or线上，而钙碱质玄武岩投影点向Ab—Q线方向延伸，这说明玄武岩浆不仅向富钠钙方向演化，而且也是向硅增高方向变化。

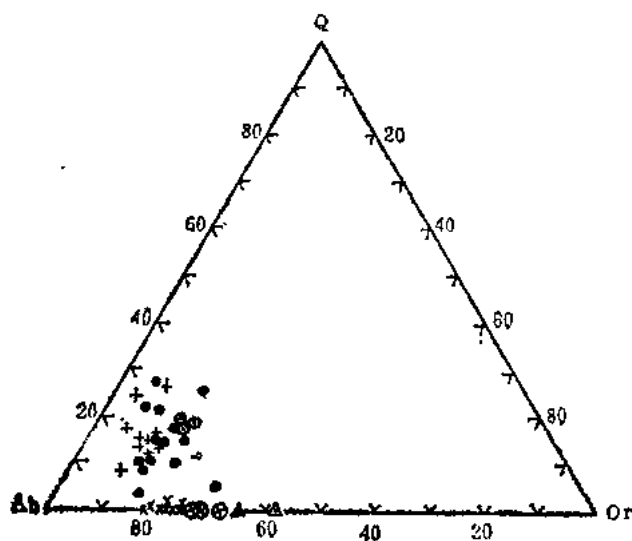


图 6 Q—Ab—Or 图解 (图例同图 3)

2. 微量元素特征

矿区内玄武岩的微量元素平均含量列于表2。从表中可以看出, Ti、Cr、Ni、Co、V含量与基性岩克拉克值比较接近, 说明岩石中的钛铬矿物的含量还是比较正常的; Zr在除第4、11、和14层以外的其它各层中含量均很高, 比克拉克值高出1~3倍, 可能表明锆石的来源比较广泛, 特别是1、3、7层玄武岩和火山碎屑岩尤为重要; Nb和Ta仅在1、3、7层中含量比较高(图7)。因此, Zr和Nb含量可能是有利于锆石和刚玉产出的岩石化学标志之一。

Zr和Nb含量之间的相关系数是0.67, 基本上是正消长关系; 它们与Ti、Cr、Ni、V等元素含量之间具明显的正消长关系, 相关系数为0.82~0.95。这说明磁铁矿、钛磁铁矿、钛铁矿和铬铁矿等是刚玉和锆石的重要伴生矿物。

岩性和层位	元素										
	Ti	Cr	Ni	Co	V	Zr	Hf	Nb	Ta	Ir	Cl
	100 300 ×10 ³	200 400 600	200 400	40 60 100	200 400 600	200 400	10 20 30	100 200	10 20	200 400	200 400 600
第14层 粗玄武岩											
第13层 细斑状玄武岩											
第12层 火山碎屑岩											
第11层 微煌玄武岩											
第10层 火山碎屑岩											
第7层 高岭土化粘土岩											
第8层 微煌玄武岩											
第6层 火山碎屑岩											
第4层 微煌玄武岩											
第3层 微煌玄武岩											
第1层 微煌玄武岩											

图7 火山岩中微量元素平均含量变化情况

表 2 火山岩中微量元素平均含量 (ppm)

岩性和层位	Ti	Cr	Ni	Co	V	Zr	Hf	Nb	Ta	F	Cl
粗玄岩 (第14层)	1.23×10^4	220	186	33	148.5	140	8	24	10	225	160
辉斑橄榄玄武岩 (第13层)	1.18×10^4	405.5	342	39	230.5	283	19	85	15	460	55
火山碎屑岩 (第12层)	1.99×10^4	538	376.5	59	241.5	258	10	76	15	245	110
橄榄玄武岩 (第11层)	1.36×10^4	377.5	293.5	36	176	132	7	26	<10	360	240
火山碎屑岩 (第10层)	1.59×10^4	482	217	43	206	230	18	74	15	180	135
高岭石质粘土岩 (第7层)	4.04×10^4	259	327	49	429	354	18	249	18	110	400
高岭土化凝灰岩 (第7层)	2.51×10^4	438	272	18	678	469	24	132	19	160	240
橄榄玄武岩 (第6层)	1.37×10^4	181	131	40	179	270	16	63	<10	500	520
火山角砾岩 (第5层)	1.82×10^4	608	82	30	495	238	10	50	21	80	180
橄榄玄武岩 (第4层)	1.13×10^4	290	170	40	145	131	5	21	11	135	260
橄榄玄武岩 (第3层)	2.46×10^4	305	211	57	392	359	26	191	18	80	640
橄榄玄武岩 (第1层)	2.11×10^4	283	112	48	373	287	15	164	14	140	200
基性岩克拉克值 (据维洛格拉多夫, 1962)	2.2×10^4	450	320	89	460	130	0.654	80.3	0.31	228	165

由中国地质科学院岩矿测试研究所刘珍荣和郭家超分析。

3. 稀土元素含量特征

矿区内玄武岩和火山碎屑岩的稀土元素含量列于表 3。

从表中可以看出, 玄武岩和火山碎屑岩的稀土元素总量变化在109.21~933.63ppm。在第7层高岭土化凝灰岩中含量最高, 其次是第5层火山碎屑岩和第1、3层橄榄玄武岩。稀土元素含量在各种岩石中的变化情况, 大体上和岩石中锆、铌、钽含量变化情况相似。这可能从另一侧面反映了更有利于锆石和刚玉产出的层位和岩性。除第1层橄榄玄武岩外, 其它各层的 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 比值为1.48~4.93。玄武岩的稀土元素含量球粒陨石化后, 它们的分布呈微向右倾斜的曲线(图8)。 δEu 为0.82~0.94, 无铕异常现象。这反映玄武岩浆是来自地壳下部的, 在岩浆上侵过程中基本上没有混溶上部地壳物质, 即便有可能混入硅铝层物质, 但是混入量也是很少的, 不足以引起铕异常。

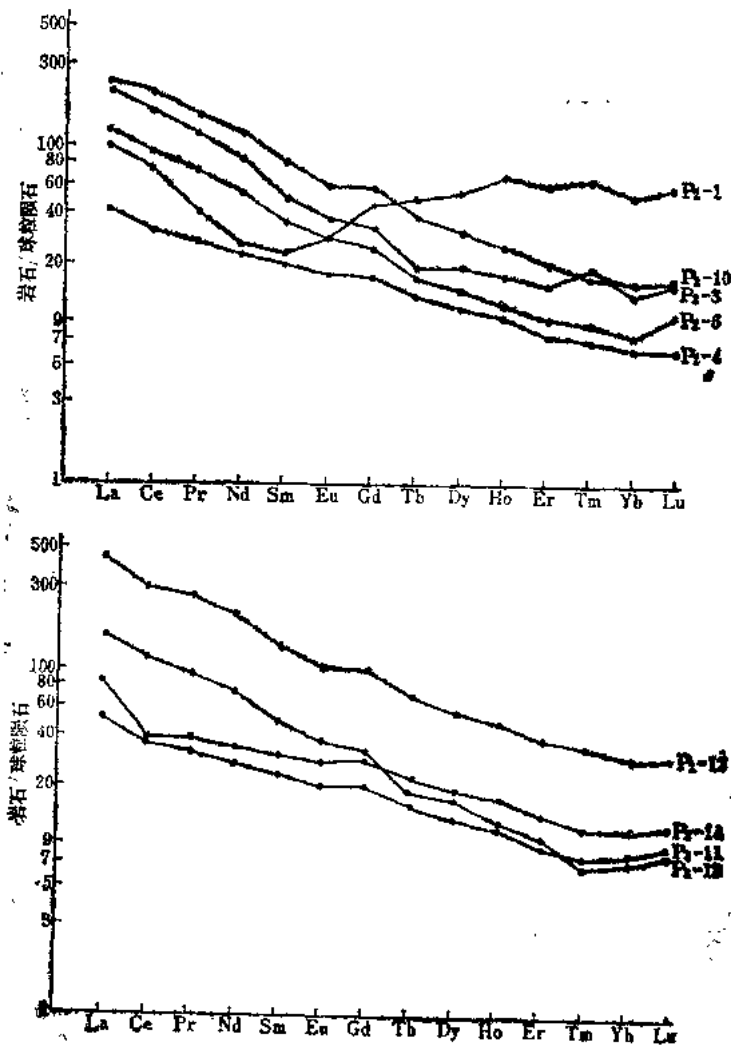


图 8 蓬莱矿区火山岩的稀土元素分布图
(编号同表3样品号)

表3 蓬莱地区玄武岩和火山碎屑岩的土稀元素含量 (ppm)

元素	岩性 层位 样号	橄 榄 玄 武 岩				火山碎屑岩	橄 榄 玄 武 岩	火山碎屑岩	辉斑橄 玄 武 岩	粗玄武岩
		第1层	第3层	第4层	第6层	第10层	第11层	第12层	第13层	第14层
		P ₂ -1	P ₂ -3	P ₂ -4	P ₂ -6	P ₂ -10	P ₂ -11	P ₂ -12	P ₂ -13	P ₂ -14
La		38.44	81.69	15.83	46.13	92.04	20.31	174.40	62.79	32.89
Ce		72.21	157.70	31.03	87.74	207.60	37.50	308.30	116.20	38.74
Pr		5.74	17.02	3.81	9.88	21.32	4.72	39.41	13.68	5.66
Nd		18.89	61.78	16.75	39.41	88.71	21.21	158.10	55.43	26.22
Sm		5.34	11.58	4.67	8.29	19.33	5.89	33.73	11.97	7.56
Eu		2.46	3.22	1.52	2.46	5.06	1.90	9.44	3.49	2.53
Gd		13.98	10.43	5.34	7.85	18.36	6.86	33.69	10.99	9.43
Tb		2.82	1.87	0.74	0.96	2.23	0.97	4.28	1.16	1.39
Dy		20.11	7.58	4.35	5.65	12.47	5.53	23.82	7.28	8.17
Ho		5.71	1.46	0.86	1.04	2.26	1.08	4.67	1.20	1.67
Er		15.05	3.82	1.98	2.50	5.28	2.55	10.94	2.86	3.89
Tm		2.56	0.74	0.29	0.36	0.69	0.32	1.53	0.30	0.50
Yb		12.74	3.28	1.60	1.91	3.87	2.05	8.06	1.92	3.03
Lu		2.18	0.60	0.24	0.39	0.64	0.37	1.26	0.34	0.5
Y		190.7	34.73	20.2	24.65	53.36	27.15	122.0	27.8	43.97
ΣREE		409.66	396.70	109.21	239.22	533.22	138.41	933.63	317.41	186.15
ΣCe/ΣY		0.52	4.93	1.94	4.01	4.12	1.84	3.25	4.54	1.48
δEu		0.83	0.89	0.94	0.93	0.82	0.92	0.86	0.92	0.92

由中国地质科学院岩矿测试研究所伍新宇分析。