

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/288714187>

# Petrological study of high Island formation volcanic columns in the Hong Kong National Geopark

Article in *Geology in China* · August 2011

---

CITATIONS

6

READS

137

8 authors, including:



Young Ng

Danxiashan UNESCO Global Geopark of China

22 PUBLICATIONS 130 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Sai Leung Ng

Chinese Culture University

57 PUBLICATIONS 1,201 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Yaning Jiang

Renmin University of China

32 PUBLICATIONS 201 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Longming Li

Hefei University of Technology

47 PUBLICATIONS 1,426 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



The Principles of Geotourism [View project](#)

# 香港国家地质公园粮船湾组火山岩岩石学研究

邢光福<sup>1</sup> 吴振扬<sup>2</sup> 陶奎元<sup>1</sup> 伍世良<sup>2,3</sup>  
陈 荣<sup>1</sup> 姜 楠<sup>1</sup> 李龙明<sup>1,4</sup> 余明刚<sup>1</sup>

(1.中国地质调查局南京地质矿产研究所,江苏南京210016;2.香港地貌岩石保育协会,香港;  
3.香港中文大学地理与资源管理学系,香港;4.香港大学地球科学系,香港)

**摘要:**在香港国家地质公园西贡火山岩园区,核心地质景观是白垩纪粮船湾组(Kkh)火山岩优美的六方形石柱(柱状节理),它们的岩石类型长期存在熔岩和火山碎屑岩之争。笔者等经野外调查和薄片岩石学研究,确认粮船湾组火山岩实属一种特殊的熔岩——流纹质碎斑熔岩,以普遍的柱状节理、斑晶具有碎斑结构和珠边结构、基质发育霏细结构和流动构造为特征;它们不仅代表了香港地区中生代最晚期火山喷发的产物,而且构成了西贡破火山机构的中央侵出相岩穹。推断粮船湾组火山岩石柱是地球上已知面积最大的流纹质碎斑熔岩石柱群( $\sim 150 \text{ km}^2$ ),目前所见的火山岩石柱仅是长期剥蚀后的残余部分。

**关 键 词:**流纹质碎斑熔岩;火山岩石柱;白垩纪;粮船湾组;香港国家地质公园

中图分类号:P588.14 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2011)04-1079-15

香港国家地质公园于2009年获国土资源部正式批准,成为香港特别行政区首个国家级地质公园。该地质公园位于香港东部西贡及新界东北部地区,总面积约50 km<sup>2</sup>,分为西贡火山岩园区和新界东北沉积岩园区两大园区。

香港位于中国东南大陆中生代火山岩带内,晚中生代陆相火山岩约占陆地基岩面积50%。西贡火山岩园区是香港晚中生代火山岩主要分布区之一,包括白垩纪浅水湾火山岩群和上覆的滘西洲火山岩群。浅水湾火山岩群由下往上可分为摩星岭组(Krd,地层代号,下同)粗火山灰晶屑凝灰岩、鹧鸪山组(Krc)细火山灰凝灰岩和熔结凝灰岩、孟公屋组(Krm)沉积岩(局部含流纹岩夹层),最上部为槟榔湾组(Krp)细火山灰凝灰岩、熔结凝灰岩及粗面质—流纹质熔岩;滘西洲火山岩群是香港地区最晚喷发的酸性火山岩,包括清水湾组(Kkw)流纹质—英安岩、高硅流纹岩、晶玻屑凝灰岩,以及粮船湾组(Kkh)火山岩<sup>[1]</sup>(图1)。

粮船湾组火山岩以均发育柱状节理、形成优美的火山岩石柱(多为六边形)为其鲜明地貌特色,构成了西贡火山岩区的核心地质景观。粮船湾组的命名地在万宜水库东坝,此处火山岩石柱地貌发育尤佳,曾被评为“香港十景”之首,六边形石柱也因之被选为香港国家地质公园的图案标志。此类火山岩石柱连续分布于西贡郊野公园东南部万宜水库周围、粮船湾海诸岛屿(包括滘西洲、大头洲、吊钟洲、匙洲、伙头坟洲、沙塘口山、火石洲、牛尾洲东部)、清水湾半岛东南部及其以东的若干岛屿(平面洲、大癞痢、青洲、果洲群岛)<sup>[1]</sup>(图1)。虽然粮船湾组火山岩分布范围较广,但却表现出相当均一的岩性岩相特征,例如:它们的SiO<sub>2</sub>含量变化甚小(74.2%~76.40%),属流纹质<sup>[2]</sup>(笔者未发表数据);它们的矿物组成与结构构造也基本一致,这导致其岩石类型长期以来一直有争论,争议焦点是究竟属熔岩还是火山碎屑岩。

粮船湾组火山岩最早由Uglow(1926)<sup>[3]</sup>定为流

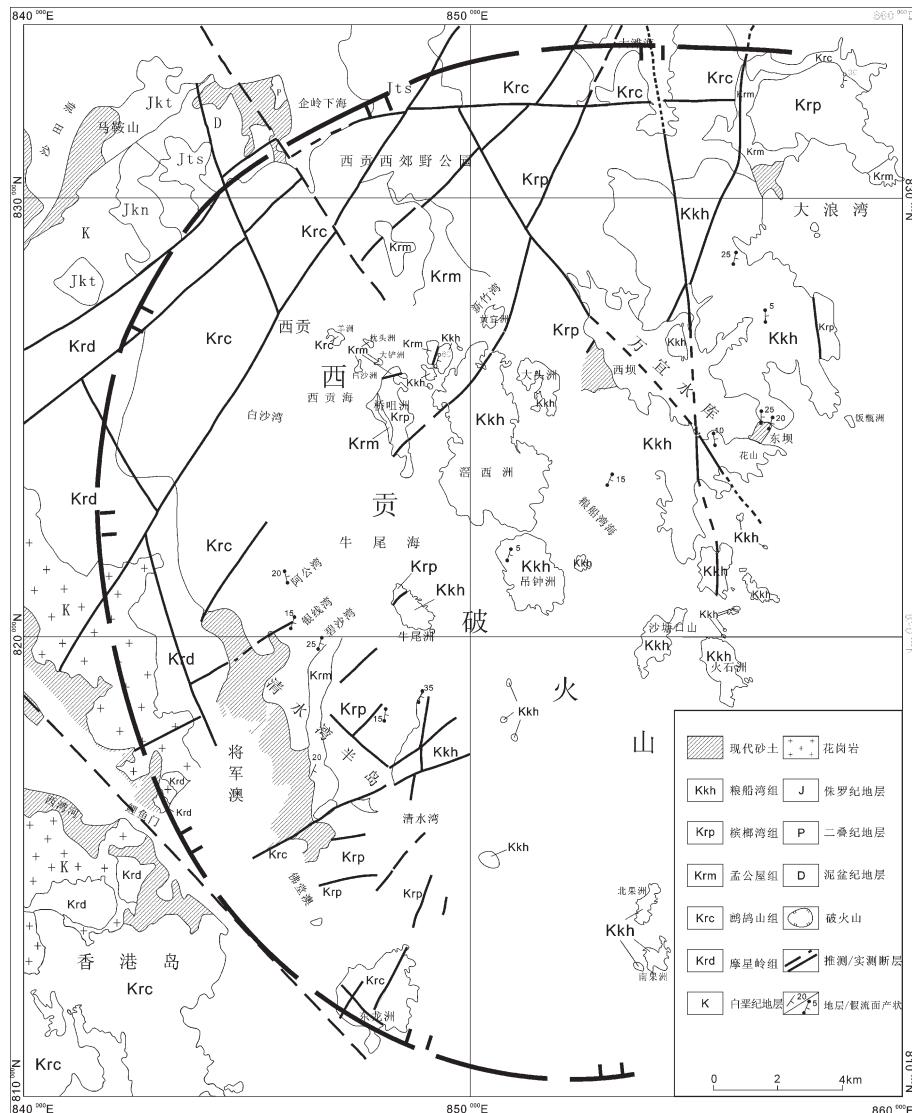


图 1 香港国家地质公园西贡火山园区地质简图

Fig.1 Geological map of the Sai Kung Volcanic Rock Region in the Hong Kong National Geopark

纹质熔岩流，并命名为粮船湾岩系；Ruxton (1960)<sup>[4]</sup>则根据其较单一的岩性岩相，认为是浅成侵入的石英斑岩岩席；Allen and Stephens (1971)<sup>[5]</sup>提出仍应为流纹质熔岩，同时也不排除属浅成侵入岩的可能性。Tam (1970)<sup>[6]</sup>首次提出粮船湾组火山岩既不是熔岩流也不是浅成侵入岩，而是火成碎屑流堆积的熔结凝灰岩；Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>在研究了万宜水库供水工程(High Island Water Scheme)中获得的大量岩心样品后，进一步认为它们全部为火山碎屑流堆积。此后 Strange et al. (1990)<sup>[8]</sup>和 Sewell et al (2000)<sup>[9]</sup>在系统总结香港区域地质特征时，均沿用了 Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>的看法，并将粮船湾组火山岩的岩

石学特征归纳为“相当均一的、块状的、含晶屑细火山灰玻屑凝灰岩，部分具有条纹斑杂组构，发育特别规整的柱状节理”，主要呈宽广的岩席出露，厚达400 m，由数个火山碎屑流堆积组成。

粮船湾组火山岩岩石类型的正确厘定，不仅涉及到如何认识西贡地区火山活动特征，而且也是香港国家地质公园火山岩主题园区需解决的关键地质问题。

## 1 粮船湾组火山岩岩石学特征

香港地区中生代火山岩分布面积较广，以往主要采用沉积岩区习用的岩石地层对比方法，建立了

许多地层组,但因甚少考虑火山构造与火山岩相等的分析,造成区域火山地层的划分不尽合理甚或难作区域对比<sup>[10]</sup>。尽管如此,粮船湾组火山岩的地层归属相对争议较小,这是因为它们普遍具有共同的岩相学特征:岩石呈深灰色致密块状,风化后呈灰红-灰黄色,表面密布烟灰色石英和肉红色钾长石自形晶体,普遍发育柱状节理,缺乏层理构造,因此在野外很容易将它们与其他地层组的火山岩区分开来。

在香港国家地质公园申报过程中,笔者等受委托承担了西贡火山岩园区地质科考,对不同地区出露的粮船湾组火山岩作了较系统野外调查与薄片岩石学研究,确认它们既非溢流相熔岩流,更不是火山

碎屑流堆积成因的火山碎屑岩类,而是一种特殊的侵出相熔岩——流纹质碎斑熔岩,仅局部在边缘过渡为溢流相熔岩流。现分别简介如下:

### 1.1 万宜水库

万宜水库周边地区粮船湾组火山岩石柱发育良好,在东坝、花山、西坝等一带所见石柱的颜色、斑晶矿物组成与结构构造等均完全一致,如普遍含丰富的(20%~30%)钾长石(粒径1~5mm)和双锥状高温石英斑晶等(图2,图3左),风化面上局部可见明显的流纹条带;在东坝还见剪切作用导致的局部柱体弯曲,沿剪切面有后期玄武质岩脉侵入(图3右)(考察点08HK203)。镜下鉴定可见火山岩均发育熔岩

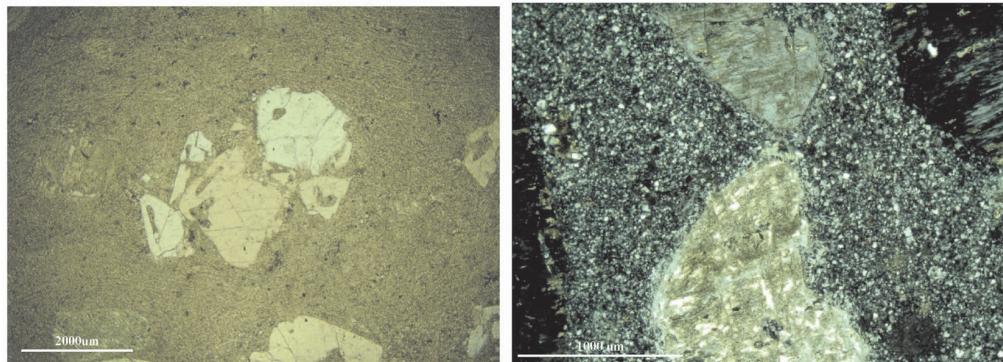


图2 万宜水库南侧粮船湾组(Kkh)流纹质碎斑熔岩显微照片

左图:石英的碎斑结构与基质的流动构造(单偏光,样品04HK-JW2);右图:钾长石斑晶的珠边结构与基质的霏细结构(正交偏光,样品04HK-JW3)

Fig.2 Microphotographs of Kkh rhyolitic porphyroclastic lava at southern High Island Reservoir  
Left: Porphyroclastic structure of quartz and flow structure in the groundmass (plainlight, sample 04HK-JW2)  
Right: Pearl-rim texture of K-feldspar phenocrysts and felsitic texture in the groundmass (crossed nicols, sample 04HK-JW3)

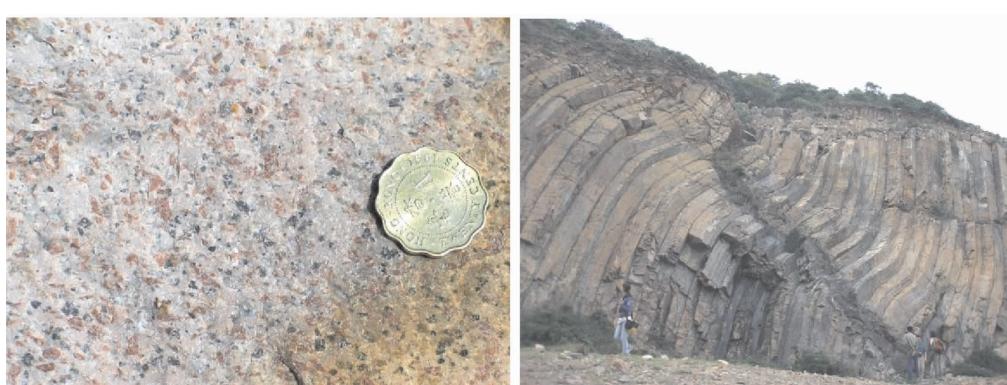


图3 万宜水库东坝粮船湾组流纹质碎斑熔岩露头(考察点:08HK203)

左图:碎斑熔岩表面可见丰富的自形肉红色钾长石和灰色石英斑晶(照片由李晓池提供);右图:在碎斑熔岩石柱中局部发生弯曲变形,沿弯曲带核部有玄武岩脉侵入

Fig.3 Outcrops of Kkh porphyroclastic lava at East Dam of the High Island Reservoir (point 08HK203)  
Left: Abundant pinkish red euhedral K-feldspar and grey quartz phenocrysts on the surface of porphyroclastic lavas  
(photo courtesy of Li Xiao-chi);  
Right: Volcanic columns of porphyroclastic lavas crooked locally along with the intrusion of a basalt dyke

中常见的流动构造和霏细结构(图 4 左, 图 5 左、图 6), 以及碎斑熔岩所特有的碎斑结构、珠边结构(图 4 右, 图 5 右, 图 6), 部分被熔蚀的石英斑晶依然保留其自形双锥形态(图 5 左)。本次还测得东坝的粮船湾组碎斑熔岩(样品 08HK203)锆石 LA ICP-MS U-Pb 法年龄为( $140.4 \pm 1.0$ ) Ma(笔者未发表)。

## 1.2 果洲群岛

果洲群岛包括北果洲和南果洲及周边若干小岛, 主要由粮船湾组火山岩构成。

北果洲岛遍布规整的六边形或五边形粗大火山岩石柱(考察点: 08HK127)(图 7 左), 直径一般 2~3 m, 表面可见大量自形斑晶, 包括烟灰色双锥状石英

(12%)、肉红色钾长石(10%)以及绿泥石化斜长石(10%); 镜下可见钾长石斑晶发育典型的碎斑结构和珠边结构, 基质为霏细结构, 不见任何玻屑、岩屑或浆屑等火山碎屑岩的特征组分(图 7 右)。本次测得其锆石 LA ICP-MS U-Pb 法年龄为( $138.7 \pm 3.1$ ) Ma(样品: 08HK127, 笔者未发表), 与万宜水库东坝碎斑熔岩测年数据在误差范围内一致, 亦与 Davis et al (1997)<sup>[11]</sup> 报导的该组锆石 U-Pb 年龄 140.9 Ma 相符, 表明其形成时代为早白垩世早期。

在南果洲岛, 其北部与北果洲岛类似, 亦全是碎斑熔岩构成的石柱; 但在其南部的大洲一带(考察点: 08HK126)则出露不发育柱状节理的流纹质自碎

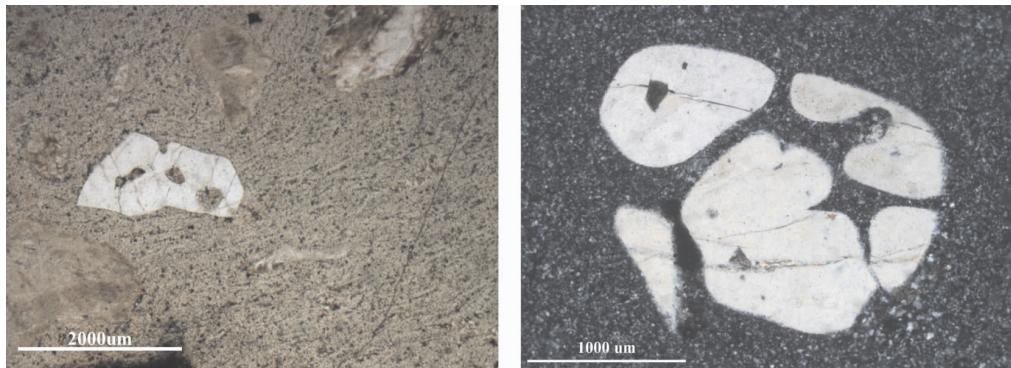


图 4 万宜水库东坝粮船湾组流纹质碎斑熔岩显微照片(样品:08HK203-1)  
左图:泥化钾长石斑晶的碎斑结构和基质中的流纹条带(单偏光);右图:一个自形的石英斑晶碎裂成数块,构成碎斑结构,并有熔蚀现象(正交偏光)

Fig.4 Microphotographs of Kkh porphyroclastic lava at East Dam of the High Island Reservoir (sample 08HK203-1)  
Left: Porphyroclastic structure of muddy K-feldspar phenocrysts and fluidal stripes in the groundmass (plain light);  
Right: Euhedral but locally corroded quartz phenocryst broken into several pieces, forming porphyroclastic texture (crossed nicols)

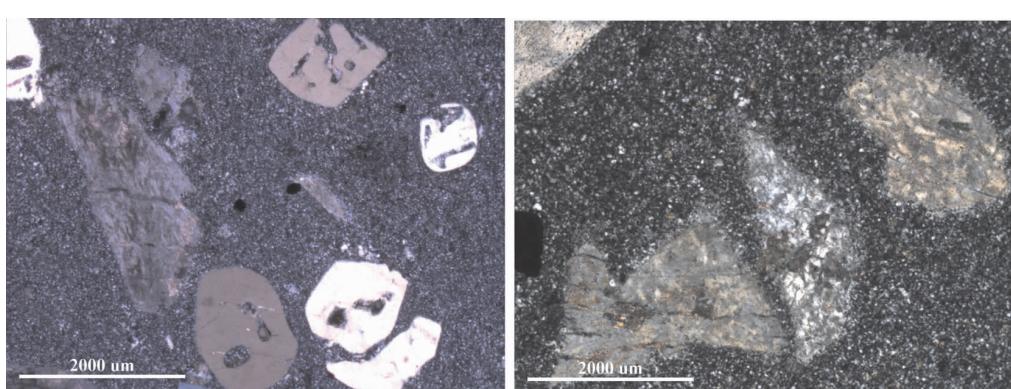


图 5 万宜水库花山粮船湾组碎斑熔岩显微照片(样品:08HK203-3)  
左图:石英斑晶呈双锥状自形晶,泥化钾长石斑晶发育碎斑结构和珠边结构,基质霏细质(正交偏光);右图:钾长石斑晶发育明显的珠边结构和碎斑结构,基质具有霏细结构(正交偏光)

Fig.5 Microphotographs of Kkh porphyroclastic lava at Fa Shan of the High Island Reservoir (sample 08HK203-3)  
Left: Euhedral quartz phenocrysts assume biconic form, muddy K-feldspar phenocrysts assume porphyroclastic structure and pearl-rim texture, and the groundmass assumes felsitic texture (crossed nicols); Right: K-feldspar phenocrysts display visible pearl-rim texture and porphyroclastic structure, and the groundmass assumes felsitic texture (crossed nicols)

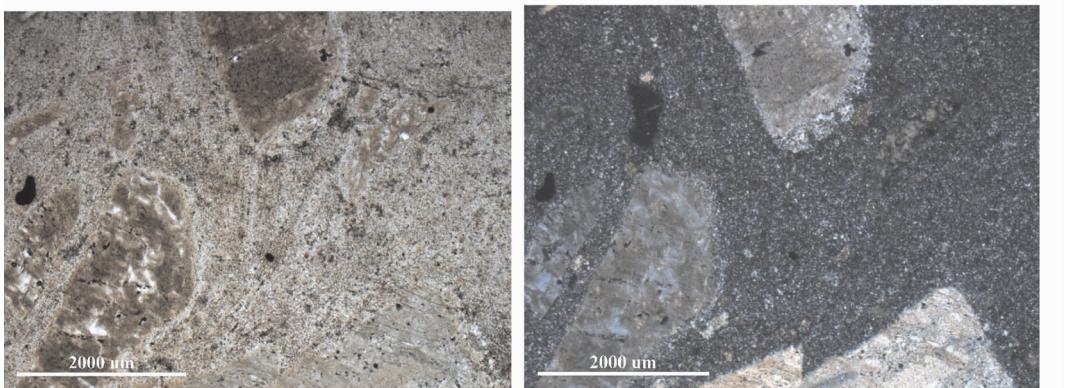


图 6 万宜水库西坝粮船湾组碎斑熔岩显微照片(样品:08HK204)

左图:碎斑熔岩含大量流纹条带,表面泥化的钾长石斑晶破碎成为碎斑(单偏光);右图:钾长石斑晶普遍发育珠边结构,基质中的流纹条带脱玻形成极细微的长英质集合体(正交偏光)

Fig.6 Microphotographs of Kkh porphyroclastic lava at West Dam of the High Island Reservoir (sample 08HK204)  
Left: Lots of fluidal stripes exist in porphyroclastic lavas, and the broken muddy K-feldspar phenocrysts assume porphyroclastic structure (plainlight);Right: K-feldspar phenocrysts assume pearl-rim texture, and fluidal stripes in groundmass have been devitrified to form fine-grained felsic mineral aggregates (crossed nicols)



图 7 北果洲粮船湾组碎斑熔岩(样品:08HK127)

左图:北果洲岛碎斑熔岩发育形态规则的六边形、五边形柱状节理,形成优美的火山石柱;右图:碎斑熔岩显微照片,钾长石和石英斑晶均发育碎斑结构和珠边结构,基质为霏细结构(正交偏光)

Fig.7 Kkh rhyolitic porphyroclastic lava on North Ninepin Island (sample 08HK127)

Left: Porphyroclastic lavas on North Ninepin Island grow hexagon and pentagon columnar joints which form beautiful volcanic columns;Right: K-feldspar and quartz phenocrysts grow porphyroclastic structure and pearl-rim texture, and the groundmass shows felsitic texture (crossed nicols)

角砾熔岩,这是香港地区较罕见的一种火山岩,可见大量棱角状-次棱角状流纹岩角砾被同成分流纹质熔岩胶结,两者均具典型的流纹构造、含较丰富肉红色钾长石(20%)和双锥状高温石英(12%)斑晶(图 8 左)。薄片观察发现,自碎角砾熔岩普遍发育珍珠状构造,这是岩浆喷出地表后快速冷凝收缩而形成的弧形裂隙(图 9 左);基质为流动构造、隐晶质和霏细质,但长石和石英斑晶均不发育碎斑结构或珠边结构(图 9 右)。流纹质自碎角砾熔岩与粮船湾组碎斑熔岩的接触界线截然而陡倾(图 8 右),反映碎斑熔

岩是穿越早期喷发的上覆自碎角砾熔岩而侵出地表的,属特殊的侵出接触关系(与侵入接触关系类似,但对应于侵出相而言);换言之,自碎角砾熔岩可归入下伏于粮船湾组的槟榔湾组(Krp),代表了近火口相岩石。

### 1.3 清水湾半岛东南部

清水湾半岛东南部的平托坑山—大坑墩一带出露大片发育柱状节理的火山岩,以往曾划为粮船湾组<sup>[8]</sup>,但因其石柱形态不如东坝等地的完整(图 10 左),Sewell et al(2000)<sup>[11]</sup>将其改归清水湾组(Kkw)。



图 8 南果洲南部槟榔湾组(Krp)流纹质自碎角砾熔岩(样品:08HK126)

左图:自碎角砾熔岩中的棱角状角砾和胶结物均为流纹质熔岩,发育清晰的流纹构造;右图:自碎角砾熔岩(Krp)与发育柱状节理的粮船湾组碎斑熔岩(Kkh)呈陡倾侵出接触关系

Fig.8 Krp rhyolitic autobrecciated lava on southern South Ninepin Island (sample 08HK126)

Left: Both angular breccias and their cements in autobrecciated lava show clear fluidal structure and are all rhyolitic lavas; Right: autobrecciated lavas (Krp) were intruded steeply by Kkh porphyroclastic lavas which developed columnar joints

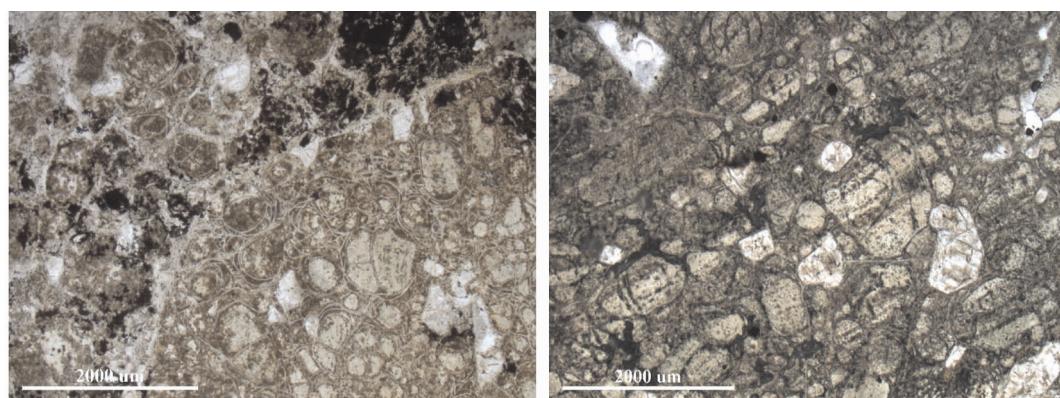


图 9 南果洲南部槟榔湾组(Krp)自碎角砾熔岩显微照片(样品:08HK126)

左图:角砾和胶结物均为流纹质熔岩,角砾具有清晰的珍珠构造(单偏光);右图:自碎角砾熔岩的胶结物由自形钾长石斑晶及具流动构造的基质组成(单偏光)

Fig.9 Microphotographs of Krp autobrecciated lava on southern South Ninepin Island (sample 08HK126)

Left: Breccias assume clear perlitic structure and cements are all rhyolitic lavas (plainlight); Right: Cements in autobrecciated lava are composed of euhedral K-feldspar phenocrysts and fluidal groundmass (plainlight)

笔者考察确认它们其实与粮船湾组火山岩具有完全可对比的岩性岩相特征,例如:在平托坑山以北的白排湾一带(考察点 08HK106)连续出露的火山岩,呈深灰色致密块状,表面密布肉红色钾长石( $\sim 20\%$ )和烟灰色石英( $\sim 15\%$ )自形晶(图 10 右);薄片中见石英和钾长石均发育碎斑结构,钾长石普遍有珠边结构,基质霏细质,流动构造清晰(图 11~12),据此仍应属粮船湾组碎斑熔岩。

从白排湾往西北到龙虾湾,粮船湾组碎斑熔岩连续分布,并有向边缘过渡为正常熔岩、与围岩呈侵出接触关系的现象。Sewell et al(2000)<sup>[1]</sup>曾提出,清

水湾半岛东部的“清水湾组”(本文已改为粮船湾组)不整合覆盖于槟榔湾组之上。在龙虾湾(考察点 08HK107),粮船湾组碎斑熔岩与槟榔湾组火山岩之间的接触界线陡立,但不属断层接触或不整合接触,应属侵出接触(图 13)。界线东侧的粮船湾组碎斑熔岩表面可见较均匀分布的丰富肉红色钾长石和烟灰色石英自形斑晶,发育宽约 3 cm 的灰绿色冷凝边,冷凝边中钾长石柱状晶体蚀变成灰白色并平行接触面定向排列(图 13 右,图 14 右),此外还出现少量定向排列的流纹条带,近接触面处流面产状明显变陡(图 14 左);薄片中见细密流纹条带构成紊流构造,



图 10 清水湾半岛白排湾粮船湾组碎斑熔岩露头(样品:08HK106)

左图:碎斑熔岩柱状节理形状不完整;右图:露头见丰富自形石英和钾长石斑晶(照片由李晓池提供)

Fig.10 Outcrops of Kkh porphyroclastic lava at Pak Pai Wan of Clear Water Bay Peninsula (point 08HK106)  
Left: Columnar joints of porphyroclastic lavas have been partly broken; Right: Abundant euhedral quartz and K-feldspar phenocrysts are present at the surface (photo courtesy of Li Xiao-chi)

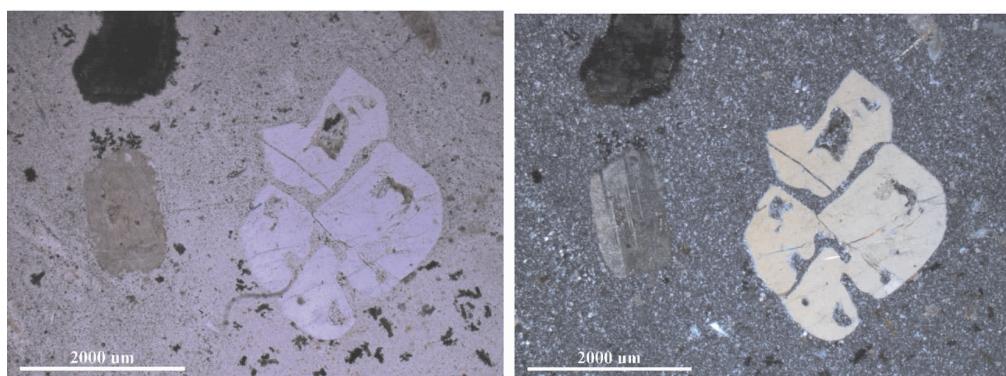


图 11 清水湾半岛白排湾粮船湾组碎斑熔岩显微照片(样品:08HK106)

左图:石英斑晶破碎,但仍保留其原始的双锥状形态;基质有明显流动构造(单偏光);右图:基质中细密的流纹条带普遍脱玻形成霏细结构,斜长石斑晶不发育珠边结构(正交偏光)

Fig.11 Microphotographs of Kkh porphyroclastic lava at Pak Pai Wan of Clear Water Bay Peninsula (sample 08HK106)  
Left: Quartz phenocrysts are broken but preserve original biconic form, and the groundmass grows flow structure (plainlight);  
Right: Fine flow bandings in the groundmass were generally devitrified and formed felsitic texture, pearl-rim texture is poorly developed in plagioclase phenocrysts (crossed nicols)

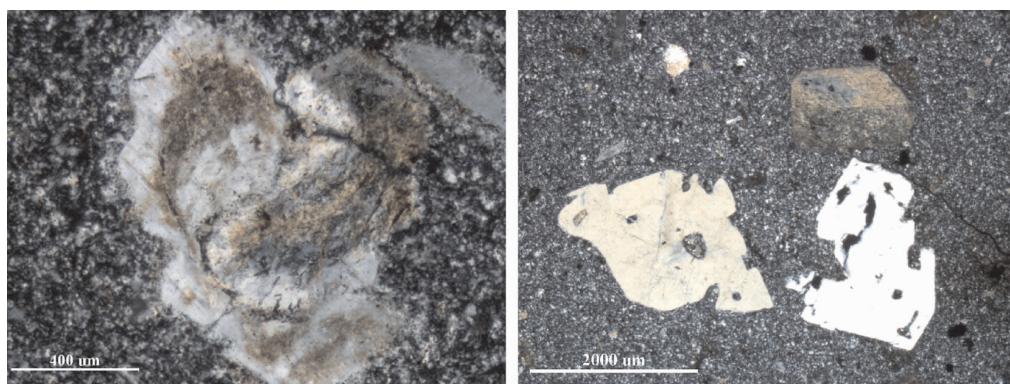


图 12 清水湾半岛白排湾粮船湾组碎斑熔岩显微照片(样品:08HK106)

左图:钾长石斑晶的碎斑结构,边部普遍发育珠边结构(正交偏光);右图:高温双锥状自形石英斑晶局部有熔蚀现象,流纹条带脱玻化形成霏细结构(正交偏光)

Fig.12 Microphotographs of Kkh porphyroclastic lava at Pak Pai Wan of Clear Water Bay Peninsula (sample 08HK106)  
Left: K-feldspar phenocrysts have porphyroclastic structure and their margins commonly develops pearl-rim texture (crossed nicols);  
Right: Euhedral biconic quartz phenocrysts are corroded locally, and flow bandings were devitrified to form felsitic texture (crossed nicols)

不复出现珠边结构和碎斑结构(图 15 左),显然碎斑熔岩的边缘已相变为流纹质熔岩。界线西侧的槟榔湾组流纹岩含密集而粗长的流纹条带,流面产状为

$115^\circ \angle 35^\circ$ ,岩相学特征与粮船湾组明显有别,流纹条带均被陡倾的接触面截断(图 13 右,图 14 右);薄片中可见基质出现脱玻形成的典型球粒结构,但缺

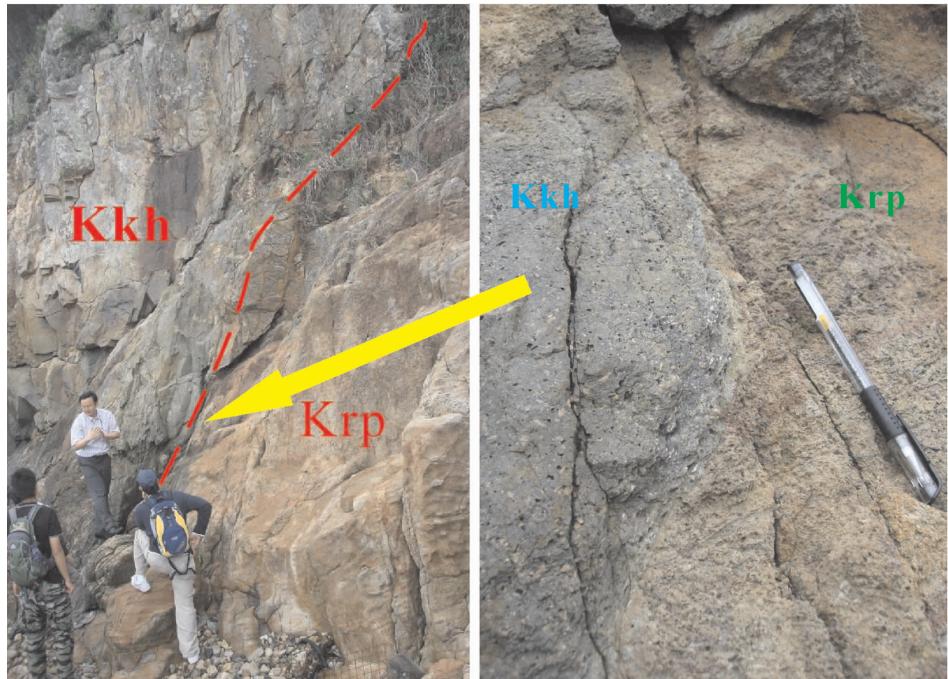


图 13 清水湾半岛龙虾湾粮船湾组(Kkh)与槟榔湾组(Krp)侵出接触关系(考察点:08HK107)  
左图:粮船湾组与围岩槟榔湾组火山岩呈侵出接触关系,接触面陡;右图:粮船湾组出现较窄的灰绿色冷凝边,槟榔湾组棕红色流纹条带被接触面截断

Fig.13 Extrusive contact between Kkh and Krp volcanic rocks at Lung Ha Wan of Clear Water Bay Peninsula (point 08HK107)

Left: Intrusive border between High Island Formation (Kkh) and its surrounding Pan Long Wan Formation (Krp) volcanic rocks is steep; Right: High Island Formation (Kkh) rock has grayish-green narrow condensation margin; palm-red fluidal bandings of Pan Long Wan Formation (Krp) rocks are cut completely by the contact zone



图 14 清水湾半岛龙虾湾粮船湾组(Kkh)的流纹条带和冷凝边(考察点:08HK107)  
左图:粮船湾组碎斑熔岩至边缘过渡为流纹岩,含少量定向流纹条带,近接触面的流面产状变陡;右图:粮船湾组边部有灰绿色冷凝边,长石沿接触界面定向排列,槟榔湾组斑晶较少

Fig.14 Fluidal bandings and cooling rim of Kkh rock at Lung Ha Wan of Clear Water Bay Peninsula (point 08HK107)  
Left: High Island Formation rock on the margin has been transformed from porphyroclastic lavas into rhyolite, and has a little oriented flow bandings, Flow planes between them become steep; Right: High Island Formation (Kkh) rock has grayish-green condensation side and feldspars are oriented along the contact zone. Pan Long Wan Formation (Krp) rock has fewer phenocrysts

乏细密流纹条带(图15右)。这与南果洲所见粮船湾组与槟榔湾组接触关系一样,碎斑熔岩的侵出界面均朝围岩倾斜,而与侵入岩的侵入界面常朝岩体本身倾斜明显不同,说明碎斑熔岩是穿过上覆槟榔湾组火山岩而侵出地表的。

火山岩区的不整合接触主要有两种:一种是构造作用导致的角度不整合,在西贡火山岩区各地层组之间不存在此类不整合;另一种是火山喷发不整合,即晚期火山喷发物覆盖在早期喷发的火山岩之上,两者产状不同,此类不整合较常见,但无构造意义。龙虾湾所见的粮船湾组碎斑熔岩岩穹向边缘过渡为熔岩、靠近接触界面处之流面产状明显变陡并发育明显冷凝边,槟榔湾组流纹岩中的粗大流纹条带被接触界面切割,以及接触界面朝围岩槟榔湾组一侧陡倾等,均说明它们不是火山喷发不整合接触,而是一种特殊的侵出接触关系。

#### 1.4 大浪湾

清水湾半岛白排湾至龙虾湾之间所见的、粮船湾组火山岩由典型碎斑熔岩向边部过渡为正常熔岩的现象,符合大型侵出相碎斑熔岩体向边缘变化为流纹质熔岩的相变规律<sup>[2]</sup>。这一相变规律在西贡大浪湾南岸(考察点08HK128)也可见及,该处粮船湾组与槟榔湾组火山岩呈断层接触(地貌上为断层谷)(图16左),断层以东为槟榔湾组含角砾熔结凝灰岩,断层以西为从万宜水库东坝向北连续出露至大浪湾的粮船湾组火山岩,但薄片观察表明此处已过渡为流纹质熔岩,发育流纹构造和隐晶质基质,无明

显碎斑结构,钾长石斑晶偶见珠边结构(图16右)。

## 2 讨论

上所述及,粮船湾组火山岩之岩石类型有熔结凝灰岩、熔岩、浅成侵入岩席等多种看法,特别是Tam and Chan(1983)<sup>[7]</sup>提出的火山灰流成因熔结凝灰岩的观点,目前在香港地学界占主流地位;笔者则认为其属碎斑熔岩。碎斑熔岩是中国内地地质工作者提出并得到深入研究的一种特殊熔岩类型,但因以往学术交流有限,国际地学界对此知之不详,因此需作进一步的对比讨论,以合理厘定香港国家地质公园西贡火山岩区的火山岩石柱成因。

### 2.1 碎斑熔岩成因及其鉴别特征

碎斑熔岩是一种特殊的侵出相(extrusive facies)熔岩类型,成分多为酸性或偏碱性,常见于中国东南沿海中生代陆相火山岩区(包括浙闽赣粤桂诸省区),介于溢流相熔岩、潜火山岩相浅成侵入体以及爆发相火山碎屑岩之间,兼有三者的某些岩相学特征,例如:出现火山碎屑岩中常见的碎裂状和棱角状晶屑(碎斑熔岩特有的碎斑结构)、熔岩中常见的霏细结构和/或隐晶结构及流动构造(常见于霏细状和隐晶状碎斑熔岩)以及潜火山岩相浅成侵入岩普遍发育的全晶质结构等(见于粒状碎斑熔岩)。碎斑熔岩有其独特的成岩过程:一般是在大规模火山活动晚期,由于岩浆房中挥发分大量逸散而不足以产生爆发性喷发,粘稠的岩浆沿主喷发通道缓慢上升侵出,在地表形成较大的碎斑熔岩岩穹并向四周溢流

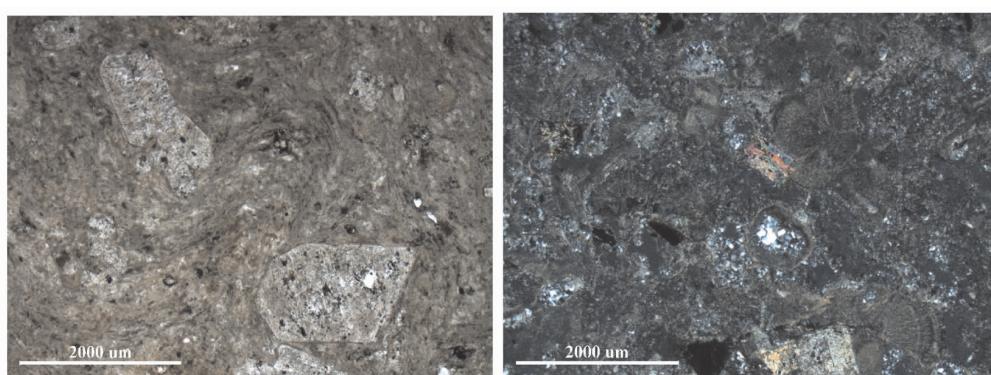


图15 清水湾半岛龙虾湾粮船湾组((Kkh,左)和槟榔湾组(Krp,右)流纹岩显微照片  
左图:粮船湾组边缘过渡为溢流相熔岩,无珠边结构和碎斑结构(单偏光,样品:08HK107-2);右图:槟榔湾组流纹岩发育脱玻形成的球粒结构,流动构造不明显(正交偏光,样品:08HK107-1)

Fig.15 Microphotographs of Kkh and Krp rhyolites at Lung Ha Wan of Clear Water Bay Peninsula  
Left: High Island Formation rock on the margin has been transformed into effusion facies lava which does not show pearl-rim texture and porphyroclastic structure (plainlight, sample 08HK107-2); Right: Pan Long Wan Formation rhyolite has been devitrified to form spherulitic texture, and does not develop obvious flow structure(crossed nicols, sample 08HK107-1)

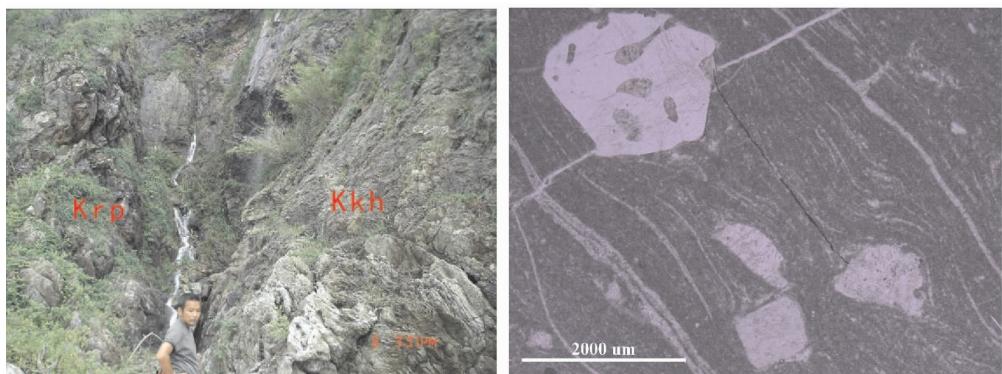


图 16 大浪湾粮船湾组(Kkh)与槟榔湾组(Krp)断层接触(考察点:08HK128)

左图:粮船湾组流纹岩与槟榔湾组熔结凝灰岩呈断层接触;右图:粮船湾组流纹岩的流纹构造清晰,但碎斑结构和珠边结构不典型(正交偏光,样品:08HK128)

Fig.16 Fault contact between Kkh and Krp volcanic rocks at southern Tai Long Wan (point 08HK128)  
Left: Fault contact between High Island Formation porphyroclastic lavas and Pan Long Wan Formation ignimbrites; Right: High Island Formation rhyolite has clear fluidal structure, but does not develop typical porphyroclastic structure and pearl-rim texture (crossed nicols, sample 08HK128)

而形成的,剖面形态呈“蘑菇状”。此外,碎斑熔岩也可沿断裂侵位而形成岩墙或岩脉。

福建省是中国东南部晚中生代碎斑熔岩主要分布区之一,也是最早开展碎斑熔岩研究的地区。1966年,福建省区域地质测量队最早命名了“粒状碎斑熔岩”,这是一种全晶质熔岩,以往常被误认为花岗斑岩、微花岗岩或花岗质侵入体的边缘相;此后,碎斑熔岩的研究越来越得到关注,确认除粒状碎斑熔岩外,还有霏细状碎斑熔岩和隐晶状/玻璃质碎斑熔岩。目前公认的碎斑熔岩具有以下鉴别特征<sup>[12-14]</sup>:

(1)碎斑结构。自形斑晶矿物破碎,但具有“碎而不散、散而不远”的特点,晶体碎片仍可拼接出原始的完整晶形,这是碎斑熔岩特有的结构。

(2)珠边结构。碎斑熔岩冷却相对缓慢,在岩浆不断结晶的同时,斑晶继续生长并捕获周缘微小晶体,形成“珍珠状镶边”,形象地称之为“珠边结构”,亦是碎斑熔岩特有的结构。

(3)流动构造。碎斑熔岩本质上也是熔岩,侵出过程中在不断流动,因而发育与溢流相熔岩流一样的流动构造,以之可区别于火山碎屑岩和浅成侵入岩。

(4)岩性岩相单一。碎斑熔岩呈侵出相产出,仅在其边缘向外侧流动而局部相变为溢流相,因而具有相当均匀的化学成分与结构构造,这是碎斑熔岩常被误认为侵入体的重要原因,而与火山灰流成因的岩石之岩性岩相复杂多变明显不同。

## 2.2 粮船湾组火山岩岩石学特征讨论

前文已论述过粮船湾组碎斑熔岩的岩石学特

征,针对前人的不同认识、尤其对 Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>提出的火山灰流成因之证据,下面再作必要的对比分析。

Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>认定粮船湾组火山岩属熔结凝灰岩的最重要依据之一,是它们“具有火山灰流凝灰岩特征,即使在手标本上也可见到玻屑和浆屑(特别是后者);浆屑通常拉长呈透镜状,有时其颜色或色调稍不同于火山灰胶结物”。但笔者在所有粮船湾组火山岩的野外调查与薄片观察中,均未见及任何浆屑和玻屑(其实玻屑一般也无法用肉眼观察到)。造成这一认识分歧的部分原因,可能是对粮船湾组火山岩分布范围的认定存在差异。Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>将大浪湾以北的火山岩大部分划入粮船湾组,而本文则划入槟榔湾组和孟公屋组(图 1),其中槟榔湾组确实存在熔结凝灰岩。Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>研究报告中的图版 1 和图版 2 展示的确是熔结凝灰岩,定向排列的浆屑条带很明显。遗憾的是:报告中未标明采样地点或必要的采样说明,也未附野外露头照片,只能推断上述报告中的熔结凝灰岩可能采自粮船湾组火山岩周缘或下伏的槟榔湾组。

尽管如此,但本文与 Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>所划定的粮船湾组火山岩分布范围大体相当,因此这只能引起局部认识的差异,而根本性的原因应是如何正确鉴别火山岩物质组分。

不同地区的粮船湾组火山岩都以均一的矿物组成与结构构造为其特色,这是包括 Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>在内的其他研究者一致公认的,也是以往曾

被认为属浅成侵入岩的重要原因。Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>也承认:粮船湾组“熔结凝灰岩席表现出相当均一的特征,具有斑状结构”,“在正交偏光下,岩石薄片中可见均匀的隐晶质基质及石英和长石集合体,见不到玻屑和浮岩屑的形态。整个岩石都由几乎各向同性的石英和长石集合体所构成”。这显然是与火山碎屑流的成因相矛盾。Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>对此的解释是:结晶作用(特别是脱玻、气相结晶)导致玻屑、浆屑、浮岩屑的形态趋于模糊乃至消失,且气相结晶加剧了脱玻化作用,使脱玻化基质趋于均一;玻屑和浮岩屑可被极度压扁而变得模糊,加之堆积后的脱玻作用,火山碎屑凝灰质的特性大多消失;认为这是粮船湾组火山岩结构构造相当均一、火山灰流成因的熔结凝灰岩被误认为熔岩的重要原因。

针对上述认识分歧,有必要从以下四个方面逐一进行讨论:

(1) 脱玻或堆积压实等后期作用不会使火山碎屑物形态模糊或均一化

火山碎屑流成因的熔结凝灰岩区别于熔岩的最重要组分特征,是含丰富的浆屑、玻屑(有时还有岩屑)、晶屑等火山碎屑物;它们在高温火山碎屑流沿地面流动时会被压扁拉长而呈定向排列,构成假流动构造。在成岩之后的漫长地质时期中,火山玻璃普遍发生脱玻化作用,例如,在清水湾半岛碧沙湾的鹧鸪山组流纹质熔结凝灰岩中,浆屑和玻屑脱玻重结晶生成长英质集合体,但它们的原始形态依然清晰保留(图 17)。

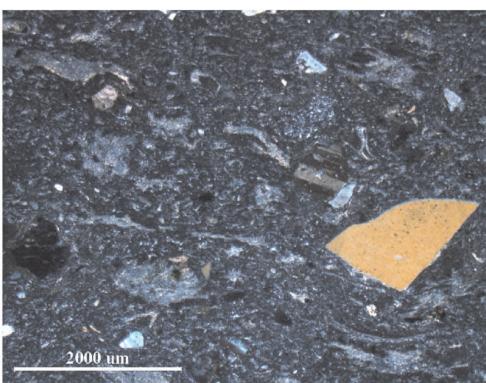
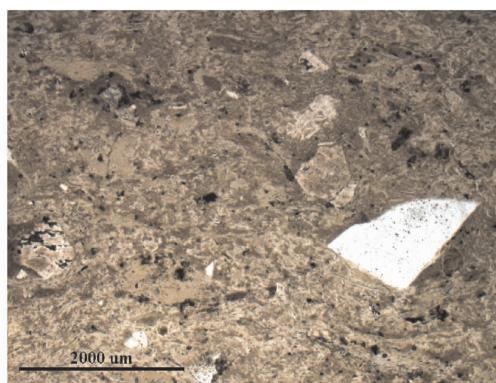


图 17 清水湾半岛碧沙湾鹧鸪山组(Krc)流纹质熔结凝灰岩显微照片(样品 08HK2-1)

左图:压扁拉长的浆屑和塑性玻屑形态可辨,石英和长石晶屑均呈棱角状(单偏光);右图:脱玻化的浆屑和塑性玻屑之形态因绢云母化而更显清晰,构成假流动构造(正交偏光)

Fig.17 Microphotographs of Krc rhyolitic welded tuff at Bayside Beach of Clear Water Bay Peninsula (sample 08HK2-1)  
Left: Oriented flattened fiammes and plastic vitric fragments are clear, quartz and feldspar fragments are all angular (plainlight); Right:  
Devitrified fiammes and plastic vitric fragments were all sericitized and formed pseudo-rhyolitic structure (crossed nicols)

同样,高温火山碎屑物在较快速固结成岩时,也没有明显的压实变形。例如,香港桥咀洲槟榔湾组、香港岛石本甸乍山鸭脷洲组熔结凝灰岩的露头上,都可见大量保存完好的压扁拉长浆屑条带,长者可达十几厘米(图 18);浙江省宁波馆头组强熔结凝灰岩的灰白色(风化色)浆屑条带(图 19 左)、泰顺县西山头组玻屑凝灰岩中刚性玻屑的弧形和鸡骨状等形态均清晰可辨(图 19 右)。不同熔结强度的熔结凝灰岩中,塑性玻屑压扁拉长的程度也不相同(图 20)。这些浆屑或刚性玻屑的原始形态显然并未受到后期压实或脱玻作用的影响。

有时构成强熔结条带的塑性玻屑与流纹条带也较易混淆,因两者都可定向排列并发生脱玻。玻屑是富含气孔的火山玻璃被炸碎的碎屑,强烈压扁拉长的塑性玻屑常不同程度保留尖锐的棱角和气孔,当气孔被完全压扁闭合时则变成暗色“脊线”(图 20 右)。粮船湾组火山岩的流纹条带以细长延续的形态区别于塑性玻屑,且后期均匀脱玻可形成霏细结构;霏细结构也常见于熔岩、潜火山岩和超浅成侵入岩中,而不可能形成于火山碎屑岩中。

#### (2) 气相结晶、囊状体与浆屑的鉴别

Tam and Chan (1983)<sup>[7]</sup>认为,气相结晶加剧了粮船湾组熔结凝灰岩的脱玻化作用,使基质趋于均一化,从而易被误认是熔岩。

在酸性火山岩中,气相结晶确实存在,但仅限于喷发后冷却成岩过程中;玻璃质脱玻形成结构有序的晶体,则发生于火山岩浆冷却固结成岩之后,且白



图 18 桥咀洲槟榔湾组(Krp,左)、香港岛砵甸乍山鸭脷洲组(Kra,右)熔结凝灰岩露头

Fig. 18 Welded tuffs of both Pan Long Wan Formation (Krp, left) on Sharp Island and Ap Lei Chau Formation (Kra, right) on Pottinger Peak of Hong Kong Island

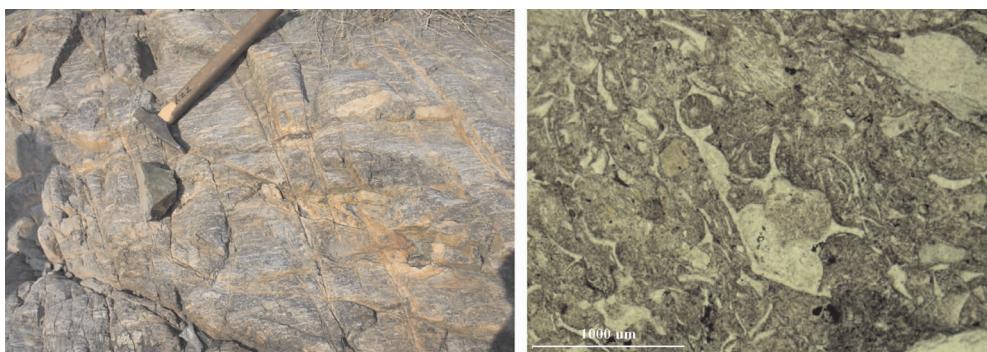


图 19 浙江宁波馆头组强熔结凝灰岩(左)和泰顺西山头组玻屑凝灰岩显微结构(右)

左图:熔结凝灰岩露头清晰可见大量定向排列的灰白色浆屑条带;右图:玻屑凝灰岩含丰富刚性玻屑,部分较大的玻屑保留较完整气孔(单偏光,样品 O6TS-09)

Fig.19 Guantou Formation strongly welded tuff in Ningbo (left) and Xishantou Formation vitric tuff in Taishun (right), Zhejiang Province

Left: Lots of dark grey oriented fiammes are exposed on the surface of welded tuffs; Right: Vitric tuff contains plentiful vitric fragments which have individual vesicles(plainlight, sample 06TS-09)

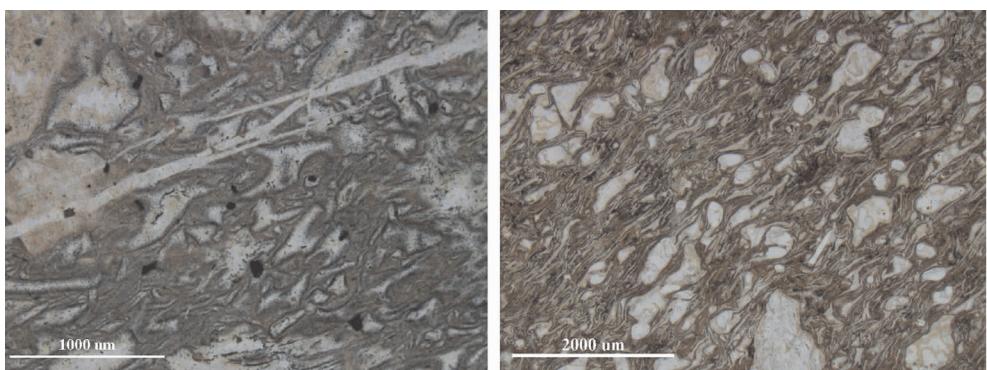


图 20 熔结凝灰岩中不同程度形变的塑性玻屑(产地:浙江)

左图:弱熔结凝灰岩,塑性玻屑变形较弱,略有压扁定向排列(单偏光,样品:D084);右图:强熔结凝灰岩,塑性玻屑强烈压扁拉长定向排列,但其形态仍清晰可辨(单偏光,样品:D094-2)

Fig.20 Plastic vitric fragments with different weldings in welded tuffs (from Zhejiang Province)

Left: Weakly-welded tuff contains weakly deformed and insignificant oriented plastic vitric fragments(plainlight, sample D084); Right: Strongly-welded tuff contains strongly flattened and oriented plastic vitric fragments(plainlight, Sample D094-2)

垩纪火山岩中至今仍可见及较新鲜的火山玻璃,说明脱玻是漫长的地质过程,与气相结晶关系不大。

酸性岩浆粘度较大,富含长英质组分的气体不易逸出而聚集起来并发生气相结晶,在岩浆流动过程中形成纺锤形长英质集合体,称之为“囊状体”,这在流纹质熔岩中并不鲜见。例如,在距万宜水库东坝不远的横洲岛上,典型的粮船湾组流纹质碎斑熔岩中就含较多囊状体,与流纹条带共同构成流动构造(图21)。囊状体易与浆屑混淆,最重要的区别是:囊状体与周围组分逐渐过渡而边缘不清晰,结晶程度较高;浆屑则与周围组分有明确界线,内部含玻璃质或不同程度脱玻(关于囊状体与浆屑的鉴别特征,笔者将另文讨论)。

### (3) 岩性岩相的共生组合

一次强烈的普林尼式火山爆发形成的火山灰流堆积中,除熔结凝灰岩(也称“条纹斑杂岩”,eutaxite)外,还可同时出现空落相玻屑凝灰岩、火山碎屑流相熔结角砾集块岩类、爆(沸)溢相凝灰熔岩、涌流相沉积火山碎屑岩类(如角砾凝灰岩、浮岩屑凝灰岩、增生火山砾凝灰岩等)。此类岩性岩相的共生组合,在以普林尼式爆发为主的中国东南部中生代陆相火山岩区极为常见。香港地区也不例外,例如:香港岛薄扶林—西高山—山顶公园一带的火山灰流堆积物中,就可分出强弱不等的熔结凝灰岩、熔结集块岩、晶屑凝灰岩等多种火山碎屑岩类;又如:分布于粮船湾组火山岩周围的槟榔湾组、鹧鸪山组火山碎屑岩中,也出现火山碎屑流相熔结凝灰岩和晶玻屑凝灰岩、爆溢相集块角砾熔岩、爆发崩塌相凝灰质

集块角砾岩、以及喷发-沉积相沉淀灰岩和凝灰质砂岩等<sup>[10]</sup>。此外,火山灰流成因的不同岩石,因其组分复杂而化学成分多变。

与此形成鲜明对比的是:碎斑熔岩则表现为单一的岩性岩相,而且保存完好的大型侵出相碎斑熔岩岩穹还可由内到外划分3个相带:内部粒状(全晶质)、中间霏细状(霏细质)、边缘隐晶状-玻璃质碎斑熔岩,这是由于冷却速率不同形成的<sup>[14]</sup>。

粮船湾组火山岩虽然分布面积较大,但岩性岩相单一,说明其不可能属火山灰流。笔者的研究已证明,香港东部地区存在2个白垩纪破火山机构,一个是香港岛—九龙地区的九龙破火山,发育中央侵入相九龙花岗岩体<sup>[10]</sup>;另一个是西贡地区稍晚形成、部分叠置于九龙破火山机构西部的西贡破火山,粮船湾组火山岩是其中央侵出相碎斑熔岩岩穹,且浅表的粒状碎斑熔岩大部被剥蚀,现今所见的均为霏细质碎斑熔岩(另文详述)。

### (4) 柱状节理比较

粮船湾组火山岩以普遍发育石柱(柱状节理)为其重要的地貌特征,即石柱分布区就是粮船湾组分布范围。Tam and Chan(1983)<sup>[7]</sup>认为,它们“是均匀的炽热物质整体缓慢冷却所形成的”,“是火山碎屑堆积的鲜明特征”,这一认识同样值得商榷。

一般而言,熔岩因其组分和结构构造相对均一,在冷却过程中易产生等间距的冷却中心,形成五边形或六边形的完整柱状节理。相反地,火山碎屑岩性岩相复杂多变而冷却速率各向异性,例如在一个完整的冷却单元中,中部冷却慢而形成强熔结凝灰

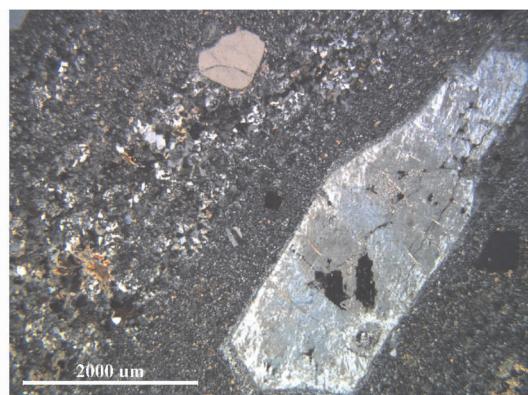
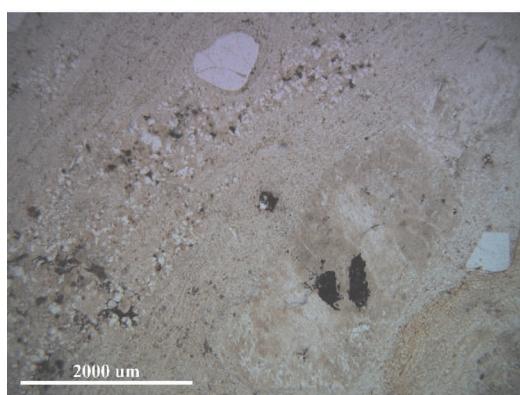


图21 横洲岛粮船湾组流纹质碎斑熔岩中的囊状体与流动构造(样品10HK-10)

左图:单偏光下气相结晶的囊状体与流纹条带清晰可辨;右图:正交偏光下可见囊状体为长英质集合体,钾长石斑晶发育珠边结构,基质呈霏细结构

Fig.21 Gas-capsule and flow structure of Kkh porphyroclastic lava on Wang Chau (sample 10HK-10)

Left: Gas-capsule and fluidal stripes under plainlight; Right: Gas-capsules are felsic aggregates and K-feldspar phenocrysts have pearl-rim texture under crossed nicols, The groundmass develops felsitic texture

岩,向上和向下冷却快而熔结强度减弱,过渡为弱熔结凝灰岩<sup>[12]</sup>。因此,火山碎屑流难以作为均匀的整体而冷却,常难形成良好的柱状节理。

世界上绝大多数的火山岩石柱都发育于玄武岩中,其他岩性的熔岩中则较为少见,少量的实例有:美国怀俄明州由响岩构成的魔鬼塔,俄罗斯南乌拉尔、哈萨克斯坦等地由英安斑岩、流纹英安斑岩和流纹斑岩构成的石柱。在中国东部中生代火山岩带中,20世纪80年代以来相继发现多处酸性火山岩石柱,如吉林省四平市山门白垩纪流纹岩石柱(面积约49 km<sup>2</sup><sup>[15]</sup>),浙江省镇海四顾山、黄岩五部和古双岩霏细斑岩石柱,临海杜桥流纹斑岩石柱等。中国东南部晚中生代流纹质碎斑熔岩分布较广,但单个流纹质碎斑熔岩体的面积一般不超过30 km<sup>2</sup>,而发育火山岩石柱者更少,如浙江临海国家地质公园大堪头破火山的碎斑熔岩石柱面积仅约2 km<sup>2</sup>,其他如福建省福安市潘洋霏细状碎斑熔岩岩穹、浙江省衢州湖南镇和临海桃渚的流纹质碎斑熔岩构成的石柱,也是如此;江西省相山碎斑熔岩岩穹虽规模巨大(面积240 km<sup>2</sup>),但不发育柱状节理。因此,香港国家地质公园中粮船湾组流纹质碎斑熔岩发育如此大面积的柱状节理(石柱),实属世界罕见。

### 2.3 粮船湾组火山岩石柱的面积和厚度

关于粮船湾组火山岩石柱的总面积,需注意三个基本地质特征:一是粮船湾组火山岩为集中出露且普遍发育柱状节理,其内部除偶见玄武质岩脉外(图3),未夹杂其他类型的火山岩;二是粮船湾组火山岩属西贡破火山机构的中央侵出相碎斑熔岩岩穹,此类岩穹平面上多呈圆形<sup>[12,14]</sup>;三是西贡破火山属于被长期剥蚀(海蚀)作用严重破坏的破火山机构,其中心大致在沙塘口山—火石洲一带,破火山的东半部已基本隐没于海平面之下,因而目前所见的火山岩石柱仅为碎斑熔岩岩穹的残留部分。据此,笔者根据现今粮船湾组南北轴向长度,估算碎斑熔岩岩穹的原始面积可达150 km<sup>2</sup><sup>①</sup>,是世界上已知面积最大的流纹质碎斑熔岩石柱群。

关于粮船湾组火山岩的厚度,Sewell et al(2000)<sup>[1]</sup>给出的数据是厚达400 m,这同样值得商榷。一方面,火山岩岩穹并非如熔岩流或火山碎屑流呈层状产出,而是岩浆从主喷发通道侵出后,充溢于破火山口洼地内并向四周流动,因而整体呈中部厚、边部薄

的蘑菇状,底部还与主喷发通道相连;另一方面,火山岩石柱(柱状节理)虽可长达数百米,但还限于近地表冷却相对较快的部分,其长度不能代表火山岩厚度;加之外圈粒状碎斑熔岩的剥蚀殆尽,严格意义上来说,粮船湾组碎斑熔岩岩穹的厚度是难以确定的。

## 3 结 论

(1)香港国家地质公园西贡火山岩园区的核心地质景观粮船湾组(Kkh)火山岩不是火山碎屑流成因的熔结凝灰岩或浅成侵入岩席,而是典型的流纹质碎斑熔岩,以不同程度发育柱状节理(石柱)、钾长石和石英斑晶发育碎斑结构和珠边结构、基质发育霏细结构与流动构造为特征,其边缘局部过渡为流纹质熔岩流。

(2)粮船湾组流纹质碎斑熔岩是岩浆沿西贡破火山之主喷发通道较缓慢上升、穿过上覆槟榔湾组火山地层侵出地表形成的中央侵出相岩穹,与围岩槟榔湾组呈侵出接触关系。

(3)与世界上其他地区的同类火山岩石柱相比,香港国家地质公园的粮船湾组火山岩石柱群可谓世界上面积最大的流纹质碎斑熔岩石柱群,是珍贵的地质遗迹。

**致谢:**野外地质考察中得到香港特区政府渔农自然护理署高级郊野公园护理主任杨家明博士及郊野公园护理主任陈羽岚小姐的大力支持,原香港土木工程署李晓池博士、香港地貌岩石保育协会何志壮先生和蔡慕贞小姐共同参与了野外考察,研究工作得到南京地质矿产研究所杨祝良、沈加林、周宇章、钱迈平和柯学等的诸多协助,在此一并表示诚挚谢意!

## 参 考 文 献 (References):

- [1] Sewell R J, Campbell S D G, Fletcher C J N, et al. The Pre-Quaternary Geology of Hong Kong. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, the Government of the Hong Kong SAR, 2000;181.
- [2] Strange P J, Shaw R, Addison R. Geology of Sai Kung and Clear Water Bay [R]. Hong Kong Geological Survey Memoir No.4, Geotechnical Control Office, Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 1990;111.
- [3] Uglow W L. Geology and mineral resources of the Colony of Hong Kong[R]. Hong Kong Government Sessional Paper, 1926, 1:73–76.
- [4] Ruxton B P. The Geology of Hong Kong. Quarterly Journal of Geological Society of London, 1960, 115:233–260.

①邢光福,陶奎元,陈荣,等.香港西贡地区及邻近海岛地质考察报告,2008.

- [5] Allen PM, Stephens E A. Report on the Geological Survey of Hong Kong[R]. Hong Kong Government Press, 1971:107. plus 2 maps.
- [6] Tam S W. Landform in the Sai Kung Peninsula and the adjacent Island. M.Sc Thesis, Hong Kong University, 1970;240.
- [7] Tam S W, Chan Y M. Late Jurasic ash-flow tuffs in the eastern part of Hong Kong, South China[J]. Asian Geographer, 1983, 2(1): 47–69.
- [8] Strange P J, Shaw R, Addison R. Geology of Sai Kung and Clear Water Bay. Hong Kong Geological Survey Memoir No.4, Geotechnical Control Office, Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 1990;111.
- [9] Sewell R J, Campbell S D G, Fletcher, C J N, et al. The Pre-Quaternary Geology of Hong Kong. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, the Government of the Hong Kong SAR, 2000;181 .
- [10] 邢光福, 孙敏, 李龙明, 等. 香港九龙复活破火山的地层结构与划分讨论[J]. 地质论评, 2007, 53(5):664–674.  
Xing Guangfu, Sun Min, Li Longming, et al. Stratigraphic Structure and Subdivision of the Kowloon Caldera in Hong Kong [J], Geological Review, 2007, 53 (5):664–674 (in Chinese with English abstract).
- [11] Davis D W, Sewell R J, Campbell S D G. U-Pb dating of Mesozoic igneous rocks from Hong Kong [J]. Journal of the Geological Society, 1997, 154:1067–1076.
- [12] 陶奎元. 火山岩相构造学 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1994:254.  
Tao Kuiyuan. Volcanic Lithofacies—structure [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1994:254(in Chinese).
- [13] 陆志刚, 陶奎元, 谢家莹, 等. 中国东南大陆火山地质及矿产[M]. 北京: 地质出版社, 1997.  
Lu Zhigang, Tao Kuiyuan, Xie Jiaying, et al. Volcanic Geology and Mineral Resources of Southeast China Continent[M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1997(in Chinese with English abstract).
- [14] 谢家莹, 陶奎元, 谢芳贵, 等. 碎斑熔岩相特征与相模式[J]. 火山地质与矿产, 1993, 14(3):1–6.  
Xie Jiaying, Tao Kuiyuan, Xie Fanggui, et al. Facies character and models of prophyroclastic lavas [J]. Volcanology & Mineral Resources, 1993, 14(3):1–6(in Chinese with English abstract).
- [15] 吕惠进. 我国酸性火山岩中的柱状节理构造景观 [J]. 自然杂志, 2005, 27(1):33–36.  
Lv Huijin. The columnar joint landscape of Mesozoic acidic volcanic rocks in China[J]. Chinese Journal of Natrue, 2005, 27(1): 33–36(in Chinese with English abstract).

## Petrological Study of High Island Formation volcanic columns in the Hong Kong National Geopark

XING Guang-fu<sup>1</sup>, Young C.Y. Ng<sup>2</sup>, TAO Kui-yuan<sup>1</sup>, Sai-Leung Ng<sup>2,3</sup>,  
CHEN Rong<sup>1</sup>, JIANG Yang<sup>1</sup>, LI Long-ming<sup>1,4</sup>, YU Ming-gang

(1. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Nanjing 210016, China; 2. Association for Geoconservation of Hong Kong, Hong Kong, China; 3. Department of Geography & Resource Management, Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China;  
4. Department of Earth Sciences, University of Hong Kong, Hong Kong, China)

**Abstract:** Wonderful Hexagonal columns (columnar joints) of Cretaceous High Island Formation (Kkh) volcanic rocks make up the key landscape of the Sai Kung Volcanic Rock Region in southern Hong Kong National Geopark, but whether they belong to lava or pyroclastic rock has been disputing. On the basis of field geological investigation and rock thin section observation, these volcanic rocks are determined to be a specific lava—rhyolitic porphyroclastic lava which is characterized by common columnar joints, porphyroclastic & pearl-rim textures of phenocrysts, and felsitic texture & flow structure in groundmass. They are not only the latest Mesozoic products in Hong Kong but also constitute a large central extrusive facies dome within the Sai Kung Caldera. This porphyroclastic lava dome is inferred to be the largest one ( $\sim 150 \text{ km}^2$ ) so far known in the world, and its residual parts after long-term erosion are current landscape which can be seen in the Sai Kung Volcanic Rock Region.

**Key words:** rhyolitic porphyroclastic lava; volcanic columns; Cretaceous; High Island Formation; Hong Kong National Geopark

**About the first author:** XING Guang-fu, male, born in 1965, doctor, senior researcher, engages in the study of volcanic geological survey of Southeast China; E-mail: njxgfu@163.com.