

香港世界地质公园晚侏罗世荔枝庄组岩石组合及其成岩地质过程解析

姜杨¹⁾, 杨家明²⁾, 杨祝良¹⁾, 沈加林¹⁾, 马雪¹⁾, 陈羽岚²⁾, 钱迈平¹⁾, 邢光福¹⁾, 余明刚¹⁾, 段政¹⁾

1) 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京, 210016;

2) 香港渔农自然护理署, 香港

内容提要: 中国东南大陆晚侏罗世地层普遍缺失, 仅零星见于个别地区, 香港新界东北的荔枝庄组即为其一。荔枝庄组出露于香港世界地质公园沉积岩园区的荔枝庄地区, 自下往上由火山岩—沉积岩—火山岩组合而成, 沉积岩中发育大型包卷层理和滑塌构造等典型沉积构造, 是香港地区最具代表性的晚侏罗世火山—沉积岩系。通过实测地层剖面研究, 确定其成岩过程大体上可划分为早期普林尼式火山爆发、中期破火山口湖相沉积和晚期普林尼式火山爆发三个阶段, 以湖相沉积作用为主、火山喷发作用为辅; 受晚期火山岩浆活动的影响, 沉积岩层普遍发生硅化或炭化。荔枝庄组独特的岩石组合与形成的古地理环境, 为探讨中国东南大陆中生代火山活动—沉积作用方式与成岩过程, 提供了难得的研究实例。

关键词: 破火山口湖相沉积; 岩石组合; 成岩地质过程; 晚侏罗世; 荔枝庄组; 香港世界地质公园

中国东南大陆沿海地区(浙、闽、粤、赣等省)广泛发育中生代火山岩, 覆盖面积达十五万平方千米, 约占全区基岩出露面积的五分之三, 构成沿海岸线呈东北向分布长达一千两百余千米、向内侧的江西省延伸宽达五百余千米的巨型火山岩带, 是环太平洋火山岩带的重要组成部分, 被称为东南大陆火山岩带, 火山活动高峰期 of 早白垩世(陶奎元, 1991; 邢光福等, 1999; Xing Guangfu et al., 2004)。该带内已解剖出众多的大型破火山口机构, 并对破火山口的形成进行过较系统研究, 著名的如江苏娘娘山破火山口(陶奎元等, 1978)、浙江雁荡山破火山口(余明刚等, 2008)、福建凤迹破火山口和柘荣破火山口(孔庆寿和冯宗帜, 1985)等。然而, 有关破火山口形成后的破火山口湖沉积则相对研究较少。

香港世界地质公园包括西贡火山岩园区和新界沉积岩园区。沉积岩园区内的荔枝庄地区出露有一套完整的晚侏罗世火山—沉积岩系, 被命名为荔枝庄组, 其岩石类型与地层结构复杂多样, 已成为香港世界地质公园的一处重要地质景观与科考地。20世纪八、九十年代, 前人进行过部分地质学和古生物

地层学等研究, 基于该组地层的岩石组合, 其内未见海相化石记录且沉积岩又含典型的火山岩砾石等证据, 并结合区域地质特征, Strange 等(1990)总结指出其很可能形成于一个破火山口, 但未有更深入的研究。笔者等在参与香港世界地质公园申报过程中, 实测了荔枝庄组地层剖面并进行了详细研究, 进一步查明了荔枝庄组的岩石类型与岩石组合、形成环境及成岩过程等, 结合区域地质背景, 推测其主体为破火山口湖相沉积, 并根据岩石组合和沉积特征, 详细恢复了其成岩地质过程。

1 区域地质背景

香港特别行政区地处中国东南大陆中生代火山岩区(图1), 区内已知最老的基底岩石为古生代非海相和浅海相沉积岩, 包括泥盆系、石炭系和二叠系等, 主要出露于香港东北和西北部, 约占全区基岩面积的10%; 进入中生代, 香港地区火山岩浆活动异常活跃, 自早侏罗世延续至早白垩世, 高峰期是早白垩世早期, 形成了占全境陆地基岩面积约85%的燕山期火山岩和侵入岩; 中生代沉积岩极为有限, 主要

注: 本文为南京地质调查中心与香港世界地质公园合作项目(合同编号分别为: AFCD/SQ/135/09/C 和 AFCD/SQ/223/2/C)和中国地质调查局地调项目(编号: 12120114005801 和 121201102000150009-10)的成果。

收稿日期: 2015-01-30; 改回日期: 2016-03-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2016.03.016

作者简介: 姜杨, 女, 1980年生。硕士, 高级工程师。Email: Jiangyang_tqt@163.com。通讯作者: 邢光福, 男, 1965年生。博士, 研究员。Email: njxgf@163.com。

为形成于深海陆架环境的早一中侏罗世砂岩、粉砂岩和页岩,占陆区面积不足3%(Sewell et al., 2000)。

香港地区中生代火山活动极其强烈,形成了不少破火山机构,如大屿山、盐田仔—城门、西贡、清水湾—粮船湾、鸭脷洲和大滩海等(Campbell & Sewell, 1997),但均未开展详细解剖(图1a)。邢光福等(2007a,b)率先解剖了九龙破火山,认为其地貌形态实为大致以尖沙咀为中心的一个大型晚中生代复活破火山机构,九龙花岗岩体为破火山口塌陷后侵位的中央侵入体,周围火山地层产状围斜内倾,发育环形断裂(主要为高角度正断层)和放射状断裂。随后,笔者等在参与香港世界地质公园申报过程中,详细解剖了西贡破火山,重新梳理了西贡火山岩园区内的火山岩地层,恢复了西贡破火山自早期强烈的普林尼式火山喷发→塌陷形成破火山口并接受沉积→第二期强烈的普林尼式火山喷发→塌陷形成破火山→破火山复活、粮船湾组碎斑熔岩侵出形成罕见的火山岩石柱的演化历史(邢光福等未发表资料)。

新界东北的荔枝庄地区出露有荔枝庄组及上覆浅水湾火山岩群大滩海峡组流纹质火山岩,发育大滩海破火山(图1a)。荔枝庄组自建组以来几经变

革。1971年,Allen和Stephens在编制香港地质图时,将新界荔枝庄地区与马鞍山、马料水及大屿山西部的某些层状岩石一起,归纳为侏罗纪浅水湾群的一个特殊填图单位。Strange等(1990)将荔枝庄地区的火山—沉积系正式命名为荔枝庄组,包括从企岭下海的东岸至荔枝庄之间的所有地层,时代定为早白垩世。随后,Campbell & Sewell(1998)提出,原荔枝庄组中的岩石类型和构造都相当复杂,建议荔枝庄组应当仅包含荔枝庄码头一带的岩层;Sewell等(2000)在《The Pre-Quaternary Geology of Hong Kong(香港前第四纪地质)》中进一步阐述了上述地层划分方案,确定荔枝庄组下伏地层为荃湾火山岩群城门组火山岩,上覆地层即为大滩海峡组流纹质火山岩(图1),并将荔枝庄组置于与大屿山火山岩群相当的层位(约146Ma)。现今,荔枝庄组被定义为一套与火山活动相关的沉凝灰岩、凝灰质砂岩、粉砂岩和泥岩等,出露范围仅限于赤门海峡东南岸的荔枝庄地区(香港土木拓展署土力工程处,2007),本文沿用此“荔枝庄组”之定义。

2 荔枝庄组实测地层剖面介绍

荔枝庄组地层实测剖面起点位于白角仔,沿海岸线经大白角,终点位于荔枝庄桥头附近(起点坐

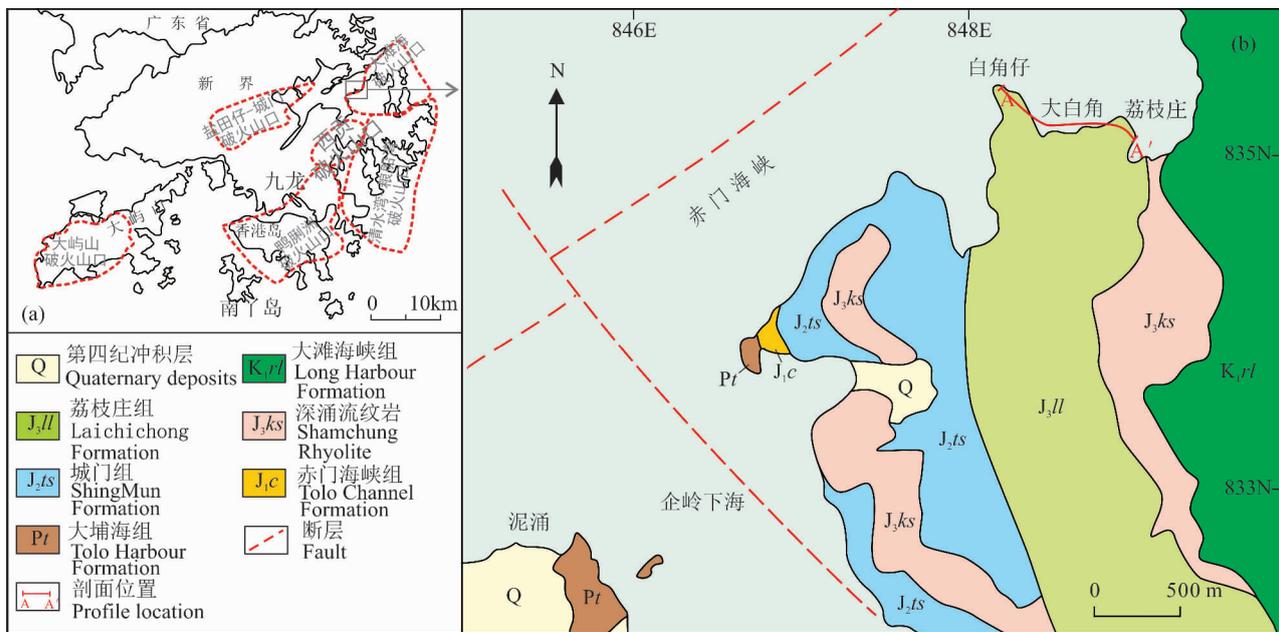


图1 香港中生代破火山分布图(a)及荔枝庄地区地质简图(b)图(a)据Campbell and Sewell,1997修改;图(b)据香港土木拓展署土力工程处(2007)修改;图示的平面坐标系统为香港1980方格网

Fig. 1 Proposed outlines of Mesozoic calderas in Hong Kong (a) and the Regional Geological Map of Laichichong (Lai Chi Chong) area (b) (Fig. (a) is modified after Campbell and Sewell, 1997. Fig. (b) is modified after Geotechnical Engineering Office of Civil Engineering and Development Department, 2007. The Plane Coordinates in Fig. (b) is Hong Kong 1980 GRID.)

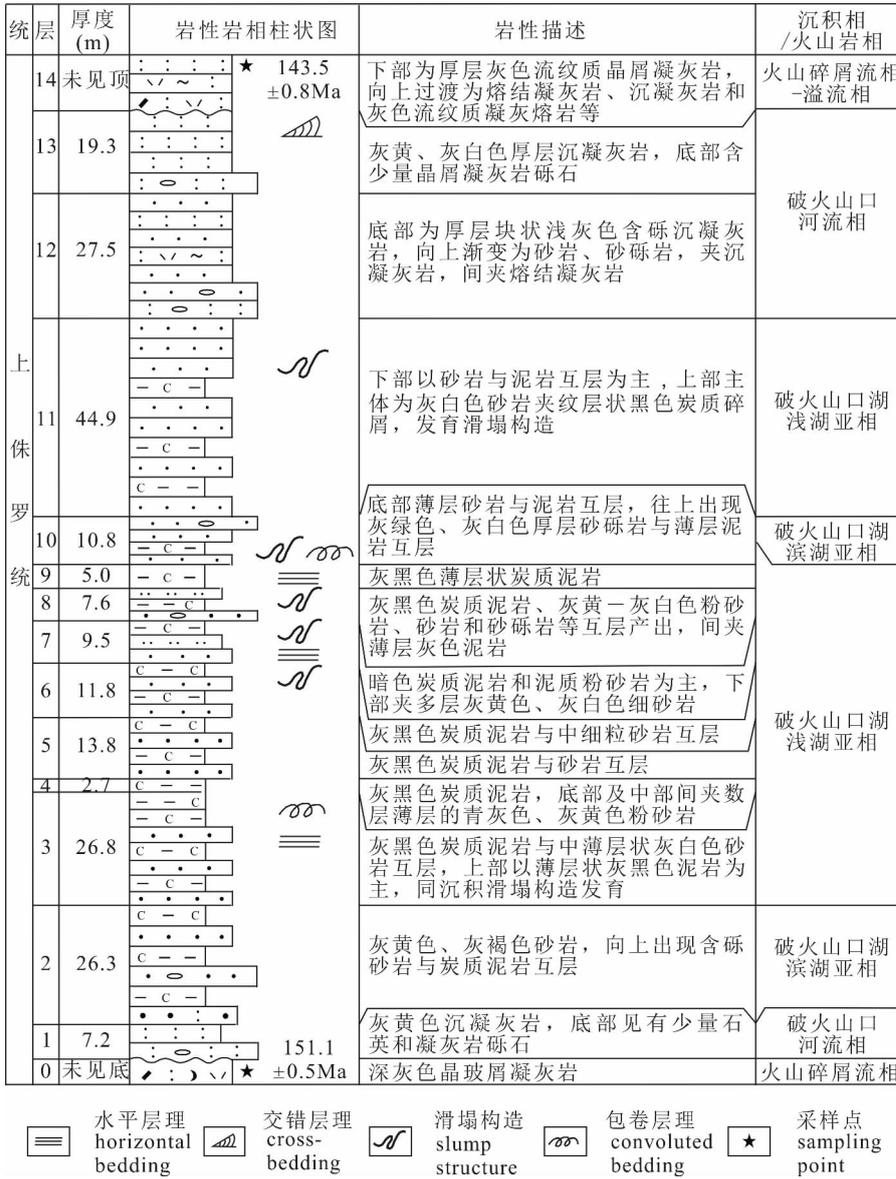


图 2 香港世界地质公园晚侏罗世荔枝庄组地层柱状图
 Fig. 2 Histogram of Upper Jurassic Laichichong (Lai Chi Chong) Formation in Hong Kong Global Geopark

标: N 22° 27' 22.9" E 114° 17' 38.9", 终点坐标: N 22° 27' 27.4" E 114° 17' 51.2")。根据野外测量和薄片鉴定结果, 将剖面划分为 14 层(图 2、3), 自下往上分层简述如下:

第 0 层: 岩性主要为深灰色晶玻屑凝灰岩, 露头可见较多灰白色斜长石晶屑(20%)和少量石英晶屑(5%)(图 4a), 镜下观察可见大量刚性玻璃屑(40%), 已全部绢云母化; 与上覆第 1 层之间接触面清晰且有一定起伏, 产状为: 90° ∠ 40°(图 4b)。

第 1 层: 以灰黄色沉凝灰岩为主, 底部见有少量石英和凝灰岩砾石; 层理构造清晰(图 4c), 产状有自下往上逐渐变陡的趋势, 反映出盆边侧向加积的特征。

第 2 层: 底部为灰黄色、灰褐色凝灰质砂岩, 厚度不大, 与下伏第 1 层沉凝灰岩呈整合接触。往上出现中粗粒含较多磨圆细石英砾的含砾砂岩与炭质泥岩互层, 且中粗粒砂岩迅速变少, 表明沉积物来源减少、枯水期到来。多处可见重力压入构造, 如含砾砂岩压入炭质泥岩并使其层理发生弯曲, 或碎裂成棱角状被炭质泥岩胶结

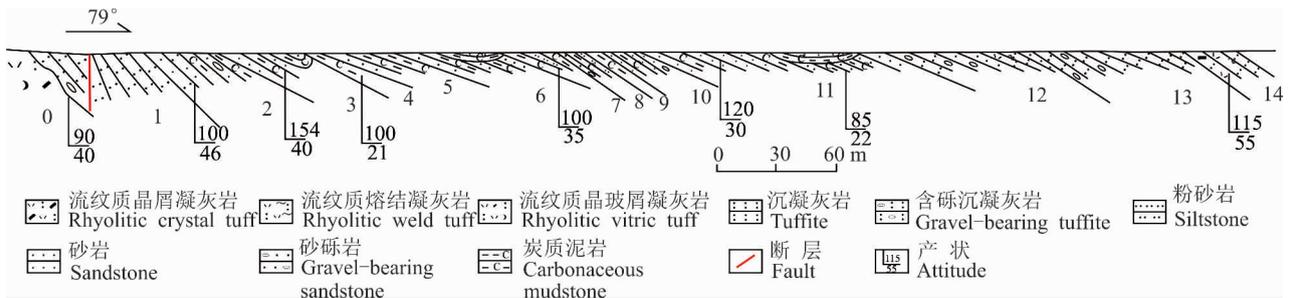


图 3 香港世界地质公园新界东北沉积岩园区上侏罗统荔枝庄组火山—沉积地层实测剖面图
 Fig. 3 The stratigraphic profile of Upper Jurassic Laichichong (Lai Chi Chong) Formation, the Northeast New Territories Sedimentary Rock Region, Hong Kong Global Geopark



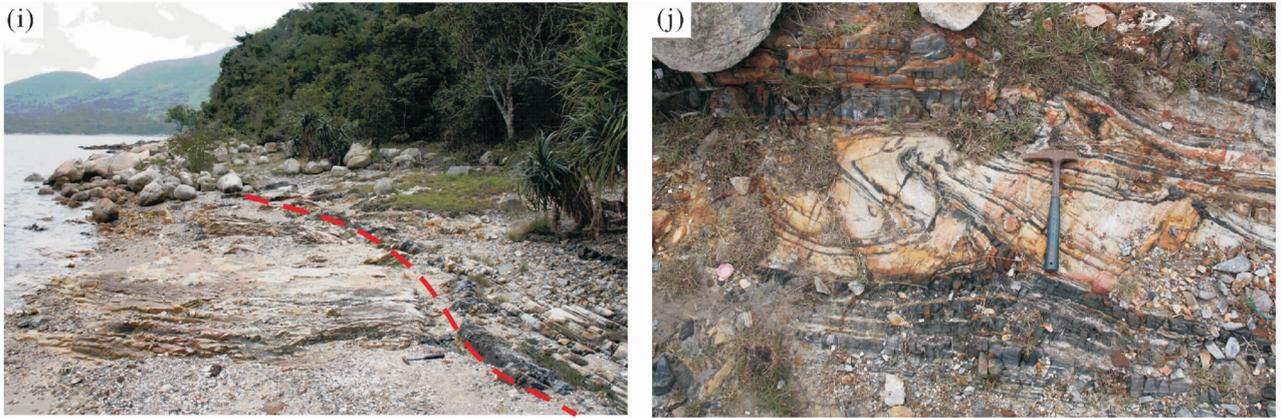


图4 剖面第0层至剖面第6层的产出特征

Fig. 4 Characteristics of layer 0 to layer 5

(a)剖面第0层流纹质晶玻屑凝灰岩露头;(b)剖面第0层和第1层沉凝灰岩之间接触关系;(c)剖面第1层灰黄色沉凝灰岩中伴随断层形成了近SN向石英脉;(d)剖面第2层凝灰质砂岩在未固结前呈块状或角砾状重力压入下伏炭质泥岩层;(e)剖面第3层下部泥岩与砂岩互层;(f)剖面第3层上部发育的大型包卷层理;(g)剖面第4层底部与下伏第3层呈层面斜交接触;(h)剖面第5层泥岩中的砂岩透镜体;(i)剖面第6层内的大型滑塌构造;(j)剖面第6层内滑塌层前缘的平卧褶皱。

(a) Rhyolitic vitric tuff of layer 0; (b) contact relationship between tuff of layer 0 and tuffite of layer 1; (c) SN-striking quartz vein accompanying with faulting in grey-yellow tuffite of layer 1; (d) Massive or brecciated tuffaceous sandstone was pressed into the underlying carbonaceous mudstone before consolidation in layer 2; (e) interbed of shale and sandstone in the lower layer 3; (f) convoluted dedding in the upper layer 3; (g) inclined contact between layer 4 and the underlying layer 3; (h) sandstone lenticle in mudstone of layer 5; (i) slump structure in layer 6; (j) recumbent fold in frontal slump stratum of layer 6

(图4d),属同生沉积构造。

第3层:下部为灰黑色炭质泥岩与灰色、灰黄色中薄层状砂岩互层,层面略有弯曲而呈宽缓弧形(图4e);上部以薄层状炭质泥岩为主,水平层理极发育,普遍有不同程度硅化。炭质泥岩炭质含量高,因其松软易滑而在重力作用下发生滑塌,滑塌层前缘受阻向上卷曲而形成大型包卷层理(图4f)。

第4层:岩性以灰黑色薄层状炭质泥岩为主,底部及中部间夹数层薄层的青灰色、灰黄色粉砂岩。炭质泥岩因硅化而质地硬脆,层面略向上弯曲,与下伏第3层具大型滑塌构造的炭质泥岩呈层面斜交接触(图4f、g),表明第3层内的包卷层理是在第4层尚未开始沉积前形成的。

第5层:灰黑色炭质泥岩与砂岩基本呈等厚的、黑白相间的条带互层产出,向上灰白色砂岩条带减少而以灰黑色炭质泥岩为主;岩层层理产状稳定,与下伏第4层呈整合接触。局部可见炭质泥岩层内含砂岩透镜体(图4h),可能为水下分支河道沉积。

第6层:总体为炭质泥岩与砂岩互层,层理构造清晰,产状基本稳定,与下伏第5层呈整合接触。炭质泥岩为灰黑色中薄层状,已不同程度硅化但仍易污手;砂岩呈灰黄色中薄层状,局部出现粗砂岩,反

映洪泛期到来。上部出现厚层浅灰黄色砂岩夹薄层灰黑色炭质泥岩,发育较大型的滑塌构造,与下伏原地地层之间呈层面斜交接触(图4i)。滑塌层前缘层理弯曲,形成形态各异的平卧褶皱、阶梯状断层等准同生变形构造(图4j)。

第7层:炭质泥岩和泥质粉砂岩为主,底部与第6层顶部滑塌层呈层面斜交接触,应为第6层滑塌之后的沉积盖层。炭质泥岩呈灰色—灰褐色,普遍因硅化而相对色浅,水平层理均极发育,层内夹多层薄砂岩,属一个较长的枯水期内沉积;砂岩以细砂岩为主,向上过渡为粉砂岩、泥质粉砂岩。上部灰黑色薄层状炭质泥岩硅化较弱,虽发生强烈滑塌但未形成明显的包卷层理,而是出现一系列依次向东南下滑的小型正断层(图5a)。

第8层:底部见有砂砾岩,含大小不等的磨圆砾石(岩性以晶屑凝灰岩为主),可见一定层理构造,为洪水期沿水下河道进入湖泊的快速堆积;往上变为灰黑色炭质泥岩、灰黄色中细粒砂岩、灰白色粉砂岩砂砾岩等互层,间夹薄层灰色泥岩;至顶部出现砂岩与炭质泥岩互层,砂岩中含少量磨圆砾石,砾石成分主要有凝灰岩、炭质泥岩等。本层内滑塌作用十分频繁,泥岩为易滑层且在滑塌过程中受挤压而形

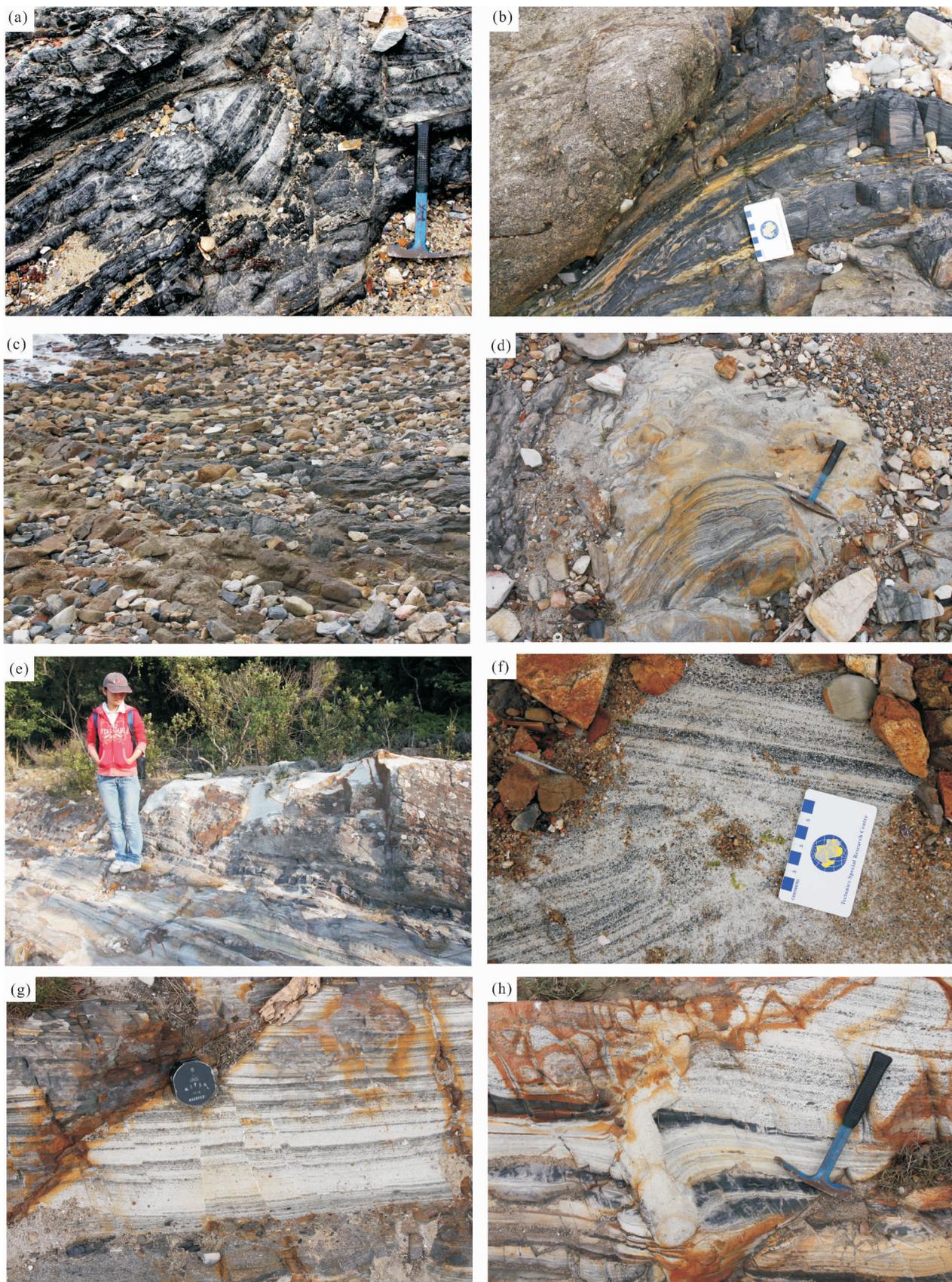


图 5 剖面第 7 层至剖面第 11 层的产出特征
Fig. 5 Characteristics of layer 7 to layer 11

(a)剖面第7层上部泥岩因滑塌作用形成多期正断层叠加和岩层褶皱变形;(b)剖面第8层上部炭质泥岩在滑塌过程中层理受挤压而形成褶皱;(c)剖面第9层灰黑色炭质泥岩夹灰褐色粉砂岩;(d)剖面第10层泥岩中发育揉皱;(e)、(f)剖面第11层黑白相间的条带状滑塌层;(g)、(h)剖面第11层滑塌层内的小断层和泄水构造;

(a) Multi-stage normal fault and fold formed when mudstone of the upper layer 7 slumping; (b) Carbonaceous mudstone of layer 8 folded when slumping; (c) grey-black carbonaceous mudstone with taupe siltstone interlay in layer 9; (d) mudstone folded in layer 10; (e)、(f) black and white slump bandings in layer 11; (g)、(h) small fault and water-escape structure in slump stratum of layer 11

成褶皱(图5b)。

第9层:灰黑色薄层状炭质泥岩,含少量灰黄—灰白色粉砂岩夹层(图5c);以稳定的水平层理而明显区别于第8层的产状多变,为枯水期的沉积,与下伏第8层顶部呈整合接触。

第10层:底部为薄层状灰黑色泥岩与灰白色砂岩互层,普遍硅化较强;往上出现灰绿色、灰白色厚层砂砾岩与薄层砂岩互层。层内滑塌构造十分发育,局部产状较紊乱,尤其是薄层泥岩因易滑而形成形态各异的包卷层理与揉皱(图5d)。

第11层:下部以砂岩与泥岩互层为主,上部主体为灰白色砂岩,夹纹层状黑色炭质碎屑。该层岩性虽与第10层类似,但滑塌构造发育(图5e、f)。上部滑塌层整体呈平直的黑白条带状,局部泥岩夹层亦在滑塌过程中被撕裂成杂乱的碎块;尚未完全固结成岩的砂泥岩滑塌层在滑塌过程中形成褶皱和密集小断层,既有正断层也有逆断层(图5g)。层内亦可见泄水构造,为压实成岩过程中含饱和水的砂泥质受挤压形成垂向排水通道、后被砂泥质贯入充填而成(图5h)。

第12层:底部为厚层块状浅灰色含砾沉凝灰岩,可见一定层理构造(图6a),是强烈火山爆发喷出的火山碎屑物在水中快速堆积而成的,与下伏第11层呈整合接触。往上为河流相砂岩和砂砾岩夹沉凝灰岩和熔结凝灰岩,与底部沉凝灰岩的接触界面明显(图6b),反映了沉积—火山喷发—沉积的成岩过程;下部砂砾岩的顶面发育起伏不平的底冲刷面,之上出现反粒序沉积层,自下而上依次为中薄层浅灰绿色砂岩—灰色含砾粗砂岩—厚层灰褐色砂砾岩,推断水下河道已基本被淤塞(图6c)。自本层往上不复再见灰黑色泥岩,反映湖泊已被完全充填而出现正常河流相沉积。

第13层:该层以灰黄、灰白色厚层沉凝灰岩为主,与下伏第12层呈整合接触。沉凝灰岩底部含砾石(约5%),岩性主要为晶屑凝灰岩,次有少量泥岩砾石;向上砾石逐渐减少,晶屑增多。含砾沉凝灰岩的顶部发育底冲刷面,上部灰白色沉凝灰岩中发育

交错层理(图7a),显示为河流相沉积。

第14层:本层以火山岩为主,岩性复杂,自下往上岩性呈晶屑凝灰岩—熔结凝灰岩—沉凝灰岩—凝灰熔岩的垂向变化,与下伏第13层呈喷发不整合接触。下部流纹质晶屑凝灰岩含大量长石(20%)和石英(30%)晶屑(图7b);中部为灰色流纹质熔结凝灰岩,可见细小的墨绿色浆屑条带;上部为灰黄色沉凝灰岩,略显层理;顶部出现较厚的凝灰熔岩。

3 荔枝庄组地层成因分析

陶奎元等(1994)系统总结了我国东南大陆陆相火山岩区破火山机构的特征:平面形态以圆形、椭圆形为主;弧形(环形)和放射状断裂发育;破火山口内火山灰流厚度大,标志性岩相为普林尼式喷发形成的火山碎屑流相,以熔结凝灰岩和凝灰岩最为发育;火山地层从内向外由新到老大致呈环状展布,产状围斜内倾;破火山口塌陷后,岩浆常沿主要火山通道再次上侵形成中央侵入相或侵出相。荔枝庄组底部为强烈普林尼式火山喷发形成的火山碎屑流相流纹质晶屑凝灰岩(剖面第0层);区域上荔枝庄组与上覆大滩海峡组和下伏城门组地层产状均总体倾向东(Sewell et al., 2000),反映区域地层由外向内由老变新的特征;荔枝庄组上覆地层大滩海峡组岩层厚约400m,平面图上呈近椭圆形(图1a),与周围相邻地层多以弧形断裂为界,具热侵位特征且发育柱状节理,为破火山形成后侵位的中央侵出相(Sewell et al., 2000;邢光福等, 2007)。上述特征均表明,荔枝庄地区存在破火山机构,荔枝庄组和大滩海峡组应形成于破火山口环境,且后者指示了破火山口的位置。

已有年代学研究表明,大滩海峡组火山岩形成时代为 142.8 ± 0.2 Ma (Davis et al., 1997),荔枝庄组顶部沉凝灰岩(剖面第14层)的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 143.5 ± 0.8 Ma (笔者等未发表),在误差范围内与大滩海峡组火山岩的成岩时代基本一致,表明荔枝庄组火山—沉积岩系形成后即被大滩

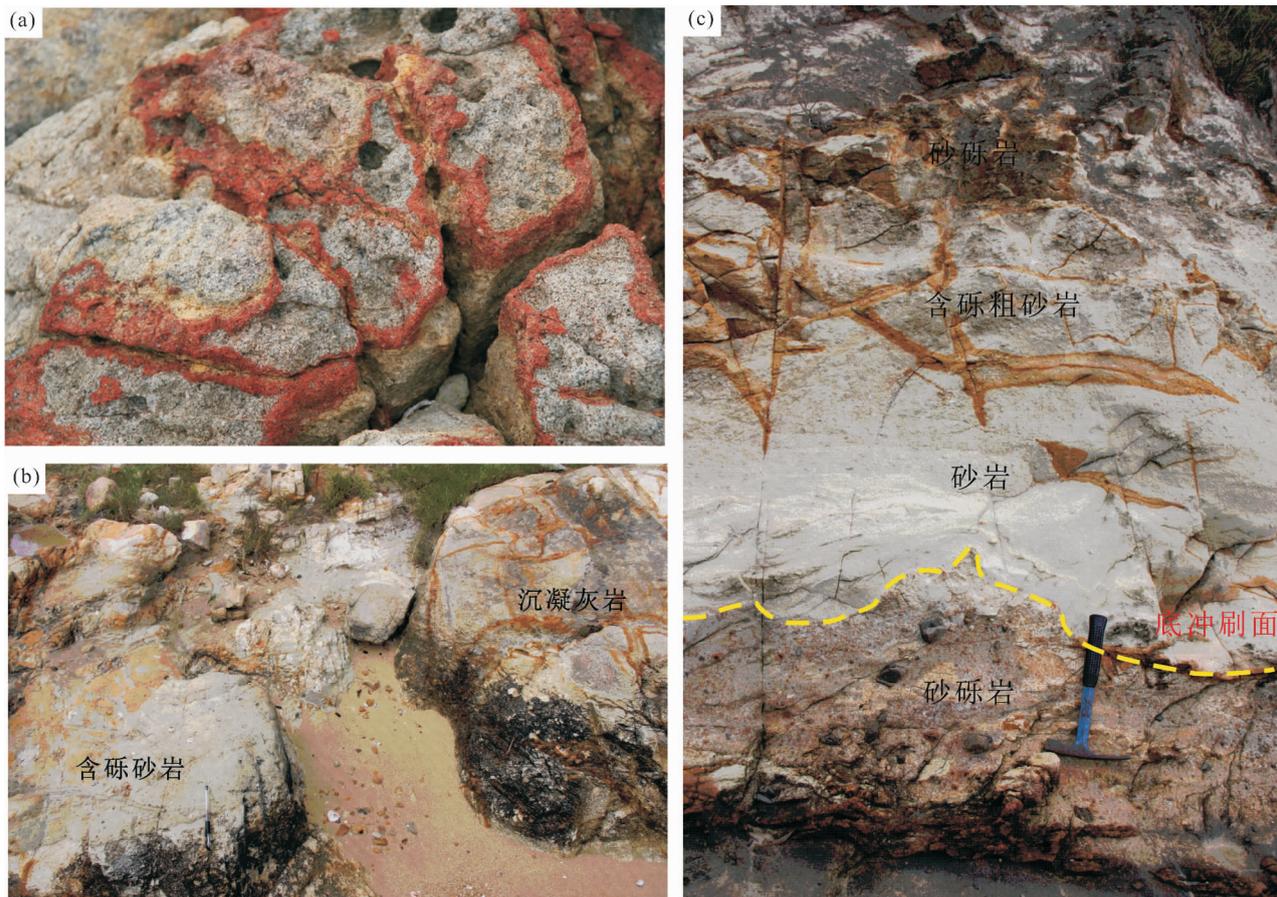


图 6 剖面第 12 层的产出特征

Fig. 6 Characteristics of layer 12

(a)剖面第 12 层底部的沉凝灰岩;(b)剖面第 12 层底部沉凝灰岩与下伏含砾砂岩之间的接触关系;(c)剖面第 12 层上部底冲刷面往上为灰绿色砂岩→灰色含砾粗砂岩→灰褐色砂砾岩,构成反粒序的河口坝沉积

(a) Tuffite at the bottom of layer 12; (b) contact relationship between tuffite at the bottom of layer 12 with the underlying gravel-bearing sandstone; (c) the mouth bar deposits with reverse graded bedding formed by grey-green sandstone, grey gravel-bearing coarse sandstone and taupe gravel-bearing sandstone from bottom to up at the upper layer 12

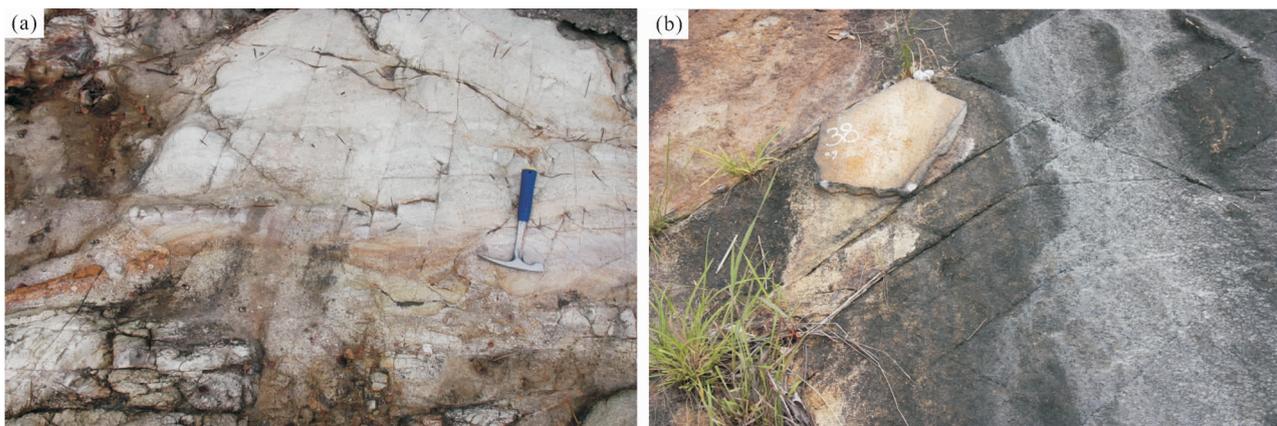


图 7 剖面第 13 层具交错层理的灰白色含砾沉凝灰岩(a)及第 14 层下部厚层状灰色流纹质晶屑凝灰岩(b)

Fig. 7 Grey-white gravel-bearing tuffite with cross-bedding in layer 13 (a) and the grey thick—massive rhyolitic crystal tuff at the lower layer 14(b)

海峡组流纹质火山岩覆盖,二者应该具有一致的成岩地质背景,进一步佐证了二者均形成于破火山口环境。荔枝庄组下伏地层城门组厚层火山碎屑岩和熔岩,时代为 $164.7 \pm 0.3\text{Ma}$ (Campbell & Sewell, 1998),为强烈普林尼式火山爆发所形成,代表了中一晚侏罗世一次强烈的普林尼式火山喷发旋回;其与荔枝庄组底部流纹质晶玻屑凝灰岩(剖面第0层)的时代($151.1 \pm 0.5\text{Ma}$,笔者等未发表)相差较大,应分属不同的火山活动旋回,故破火山口的形成应与荔枝庄组底部的火山活动旋回有关。

与正常的湖相或河流相沉积相比,破火山口湖沉积具有以下地质特征:①出露范围局限在破火山口内,特别是在破火山口边界断裂与复活岩穹(中央侵入相或侵出相)之间;②火山—沉积岩的岩块、角砾等以附近火山岩为主,代表崩塌产物,其上部可以出现内陆湖、河流相沉积;③细火山灰的风化以及地热活动可形成条带状硅质岩;④水体较深时可以出现含淡水化石的泥灰岩(陶奎元等,1994)。本次实测地层剖面研究表明,区域上,荔枝庄组出露范围仅局限于城门组火山岩和大滩海峡组流纹质火山岩(复活穹窿)之间,地层产状与总体倾向东偏南,即倾向于以大滩海峡组为代表的破火山口中心;底部凝灰岩(第1层)中含大量棱角状一次棱角状的石英晶屑和凝灰岩细砾,暗示其碎屑物搬运距离近,物源区即是周围的火山岩地层;上部出现河流相沉积的含砾凝灰岩、砂岩和砂砾岩等(剖面第12~13层);岩石均有不同程度硅化和炭化等等,均表现破火山口湖沉积的地质特征(详见下述),从另一个侧面证实了荔枝庄组沉积岩为破火山口湖相沉积。

荔枝庄组地层岩性复杂多样,但总体亦有律可循,具体表现为:中部是正常沉积岩(炭质泥岩、砂岩、砂砾岩等),发育大型滑塌构造,下部和上部为火山碎屑流相和爆溢相火山岩(包括流纹质晶屑凝灰岩、熔结凝灰岩、凝灰熔岩等)以及火山—沉积相岩石(沉凝灰岩、凝灰质砂岩等等);自下而上,可依次划分为下部火山岩段(剖面第0层,未见底)→中部沉积岩段(剖面第1~13层)→上部火山岩段(剖面第14层,未见顶)等三个岩性段。结合区域地质概况和本次研究推断,晚侏罗世($151.1 \pm 0.5\text{Ma}$)时本区强烈的普林尼式火山喷发,形成了荔枝庄组底部火山碎屑流(剖面第0层,下部火山岩段),并导致岩浆房塌陷形成破火山口;之后,破火山口积水成湖并开始接受沉积,形成了荔枝庄组占主导地位的中部沉积岩段(剖面第1~13层);早白

垩世初期($143.5 \pm 0.8\text{Ma}$),荔枝庄地区再次发生普林尼式火山喷发形成荔枝庄组顶部的火山岩段(剖面第14层)。

3.1 早期:普林尼式火山爆发,形成下部火山岩段(第一旋回剖面第0层)

荔枝庄地区强烈的普林尼式火山爆发形成了剖面第0层火山碎屑流相的流纹质晶玻屑凝灰岩,其锆石 LA ICP MS U-Pb 年龄为 $151.1 \pm 0.5\text{Ma}$,表明破火山口形成于晚侏罗世。

3.2 中期:火山喷发间歇期,河流相和湖相沉积(剖面第1~13层)

3.2.1 底部河流相沉积

剖面第1层厚层状沉凝灰岩的出现,意味着本区进入了相对短暂的火山活动间歇期,破火山口内积水形成湖泊,河流也开始注入湖中并搬运来大量火山碎屑,堆积形成了河流相的沉凝灰岩,构成了本剖面中段沉积岩段的基底。

3.2.2 中部滨湖亚相→浅湖亚相→滨湖亚相→浅湖亚相沉积

随着河流的发育,碎屑物被不断推进至破火山口湖沉积,形成剖面第2层的凝灰质砂岩以及砂砾岩和炭质泥岩的互层。随后,沉积了大体等厚的炭质泥岩与灰褐色砂岩互层,构成剖面第3层;其顶部几乎全为灰黑色泥岩,反映注入火山口湖的河流水量不大,相应地携带进入湖泊的沉积物也较少;当侧向加积作用形成的原始倾斜泥岩层达到一定厚度时,在未固结成岩并富含孔隙水的状况下,受沉积物液化流作用及重力影响而发生顺坡滑动,形成荔枝庄组内最早的大型滑塌构造(图4f),并伴生大型包卷层理及褶曲构造,均属准同生变形构造(penecontemporaneous deformation structure)。

剖面第4~9层以泥岩与砂岩或粉砂岩互层为主,水平层理发育,属典型的浅湖亚相沉积;第8层底部出现砂砾岩,向上沉积物粒度变细,可能为洪水期水下河道的快速堆积。该段层内滑塌构造发育,第6层上部厚层灰白色砂岩因其底部存在易滑层(薄层泥岩),形成荔枝庄组内的第二个大型滑塌构造(图4i),滑塌层前缘出现形态各异的平卧褶皱、阶梯状断层等准同生变形构造(图4j);第7层和第8层内的滑塌构造亦发生在易滑层(泥岩)层内,但规模较第6层的滑塌构造小(图5a,b)。

第10层底部亦以泥岩与砂岩互层为主,层内小规模滑塌作用频繁并形成包卷层理、褶曲等准同生沉积变形构造(图5d)。往上沉积物粒度变粗,出现

砂砾岩与砂岩的互层,反映沉积环境可能过渡为滨湖亚相,水体向上变浅。

自第11层底部开始出现稳定的泥岩与砂岩互层,暗示沉积环境变为较稳定的浅湖亚相。该层内部发生较大规模的滑塌作用,形成本剖面最上部黑白相间砂泥岩层构成的大型滑塌构造,并出现同样复杂的褶曲(图5e,f,g,h)。

3.2.3 顶部河流相沉积

第12层标志着荔枝庄地区沉积环境发生重大变化,即转变为河流相沉积环境,其底部为厚层沉凝灰岩,向上逐渐变为河流相砂岩、砂砾岩及沉凝灰岩互层,间夹熔结凝灰岩层,出现数层底冲刷面(图6c),但不复再现泥岩。第13层岩性亦为厚层含砾沉凝灰岩,且由下往上砾石变少变细,同样属河流相沉积,表明火山活动以间歇式喷发为主,喷出的火山碎屑物快速填满破火山口湖,水下河道转变为陆上河流。

3.3 晚期:普林尼式火山爆发,形成上部火山岩段(第二喷发旋回,剖面第14层)

第14层自下而上岩性的变化,反映了本区新一轮火山活动的开始,且存在由普林尼式强烈爆发(形成晶屑凝灰岩+熔结凝灰岩的不完整冷却单元)→短暂的喷发间歇(形成沉凝灰岩)→相对平静的沸溢式喷发(形成凝灰熔岩)的完整喷发过程。测得沉凝灰岩的锆石 U-Pb 年龄为 $143.5 \pm 0.8\text{Ma}$,时代为早白垩世初,说明荔枝庄组沉积地层主体形成于晚侏罗世。再往上则出现厚层含角砾富晶屑凝灰岩,连续出露于荔枝庄村到明爱小塘营一带,但不复出现正常沉积岩类。

3.4 沉积岩段的富硅热液交代作用

整体而言,荔枝庄组火山—沉积地层基本上未受到后期构造活动的改造,原生沉积构造保存完好,但中部沉积岩段(剖面第2~11层)普遍发生较强硅化,且所含有机质也普遍高温炭化。从上部火山岩段(剖面第12~14层)未见明显硅化来看,硅化/炭化是由第二喷发旋回火山活动所引起,高温富硅岩浆热液对沉积地层产生了一定程度的交代和烘烤。

4 结论

(1)荔枝庄组实测剖面研究显示,地层自下往上由火山岩—沉积岩—火山岩组合而成,沉积岩中发育大型包卷层理和滑塌构造,主体形成时代为晚侏罗世。

(2)荔枝庄组岩性岩相变化特征表明,其主要形成于强烈的普林尼式火山爆发及破火山口湖沉积环境,在极短的时间内即历经了早期火山爆发(第一旋回)→间歇期沉积→晚期火山爆发(第二旋回)过程,为探讨香港晚中生代的古地理环境及演化历史、区域火山—沉积岩系形成过程等,提供了丰富的地质信息。

致谢:感谢香港渔农自然护理署欧丽梅和李美霞等提供了野外考察协助以及相关地质研究资料。

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 孔庆寿,冯宗帆. 1985. 福建省中生代晚期火山机构. 中国地质科学院南京地质矿产研究所刊, 6(2):16~35
- 陶奎元,吴岩,黄光昭,陈捷干. 1978. 娘娘山古火山口的构造和岩相特征. 地质学报, 第1期:40~53
- 陶奎元. 1991. 中国东南大陆火山带的独特性. 火山地质与矿产, 12(3):1~11
- 香港土木拓展署土力工程处. 2007. 香港地质考察指引. 香港:香港特别行政区政府. 26~32
- 邢光福,杨祝良,薛怀民,沈加林,赵宇,毛建仁,陶奎元. 1999. 中国东南大陆中生代火山岩带研究进展和方向. 江苏地质, 23(4):221~224
- 邢光福,孙敏,王步云,李晓池,陈荣,李龙明. 2007a. 香港九龙复活破火山的鉴别及其地质意义. 地质论评, 53(3):363~370
- 邢光福,孙敏,李龙明,王步云,陈荣. 2007b. 香港九龙破火山的地质结构与划分讨论. 地质论评, 53(5):664~674
- 余明刚,邢光福,沈加林,陈荣,周宇章,隗合明,陶奎元. 2008. 雁荡山世界地质公园火山作用研究. 岩石矿物学杂志, 27(02):101~112
- Allen P M and Stephens E A. 1971. Report on the Geological Survey of Hong Kong. Hong Kong: Hong Kong Government.
- Campbell S D G and Sewell R J. 1998. A proposed revision of the volcanic stratigraphy and related plutonic classification of Hong Kong. Hong Kong Geologist, v. 4, 1~11.
- Davis D J, Swell R J, Campbell S D G. 1997. U-Pb dating of Mesozoic igneous rocks from Hong Kong. Journal of the Geological Society, 154:1067~1076.
- Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department of Hongkong. 2007#. Hongkong geology guide book. Hongkong: The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 26~32
- Kong Qingshou, Feng Zongze. 1985&. Late Mesozoic Volcanic Edifices of Fujian Province. Bull. Nanjing Inst. Geol. M. R., Chinese Acad. Geol. Sci., 6(2):16~35
- Sewell R J, Campbell S D G, Fletcher C J N, Lai K W, Kirk P A. 2000. The Pre-Quaternary Geology of Hong Kong. Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, the Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 75~76.
- Strange P J, Shaw R, Addison R. 1990. Geology of Sai Kung and Clear Water Bay, Hong Kong Geological Survey Memoir No. 4. Hong

- Kong: Geotechnical Control Office, Hong Kong Government.
- Tao Kuiyuan, Wu Yan, Huang Guangzhao, Chen Jigan. 1978. The Structural and Facies Characteristics of Niangniangshan Paleocalder. *Acta Geologica Sinica*, 1:40 ~ 53
- Tao Kuiyuan, 1991#. Specific Characteristics of Mesozoic volcanic zone in Southeast China Continent. *Volcanology & Mineral Resources*, 12(3):1 ~ 11
- Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Xue Huaimin, Shen Jialin, Zhao Yu, Mao Jianren, Tao Kuiyuan. 1999. The Study Progress and Orientation of Mesozoic Volcanic Rock belts in Southeast Continent, China. *Jiangsu Geology*, 23(4):221 ~ 224
- Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Chen Rong, Shen Jialin, Wei Naiyi, Zhou Yuzhang. 2004. Three stage Mesozoic bimodal igneous rocks and their tectonic implications in the continental margin of Southeast China, 78(1):27 ~ 39.
- Xing Guangfu, Su Min, Wang Buyun, Li Xiaochi, Chen Rong, Li Longming. 2007a. Identification of the Kowloon Revived Caldera in Hong Kong. *Geological Review*, 53(3):363 ~ 370
- Xing Guangfu, Su Min, Li Longming, Wang Buyun, Chen Rong. 2007b. Stratigraphic Structure and Subdivision of the Kowloon Caldera in Hong Kong. *Geological Review*, 53(5):664 ~ 674
- Yu Minggang, Xing Guangfu, Shen Jialin, Chen Rong, Zhou Yuzhang, Kui Heming, Tao Kuiyuan. 2008. Volcanism of the Yandang Mountain World Geopark, *Acta Petrological et Mineralogica*, 27(02):101 ~ 112

Stratigraphic Study on Upper Jurassic Laichichong (Lai Chi Chong) Formation in the Hong Kong Global Geopark, China: Rock Association and Diagenetic Process

JIANG Yang¹⁾, YEUNG Kaming²⁾, YANG Zhuliang¹⁾, SHEN Jialin¹⁾, MA Xue¹⁾, CHAN Yunam²⁾, QIAN Maiping¹⁾, XING Guangfu¹⁾, YU Minggang¹⁾, DUAN Zheng¹⁾

1) *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016;*

2) *Agriculture, Fisheries & Conservation Department, Hong Kong Special Administrative Region, Hong Kong*

Abstract: The Laichichong (Lai Chi Chong) Formation outcrops in the Northeast Sedimentary Rock Region of the Hong Kong Global Geopark. It is composed of the late Jurassic volcanic rocks, sedimentary rocks (developing typical convolute beddings and slump structure) and volcanic rocks from the bottom up, and is very rare in Hong Kong as well as in the Mesozoic volcanic zone of Southeast China Continent. Stratigraphic profile measuring implies that its diagenetic process include the early Plinian eruption, the middle caldera-lacustrine deposition and the late Plinian eruption, in which the caldera-lacustrine deposition was predominated and volcanic eruption played an additional role. Sedimentary rocks formed during the middle stage were highly silicified and carbonized due to the late Plinian eruption. Special rock assemblage and geographic environment of the Lai Chi Chong Formation provide important clues for understanding Mesozoic volcanism and deposition in Southeast China Continent.

Keywords: caldera-lacustrine deposition; rock association; diagenetic process; Late Jurassic; Laichichong (Lai Chi Chong) Formation, Hong Kong Global Geopark

Acknowledgements: This work was financially supported by Agriculture, Fisheries & Conservation Department, Hong Kong Special Administrative Region (Contract No. AFCD/SQ/135/09/C and AFCD/SQ/223/2/C) and China Geological Survey (No. 12120114005801 and No. 121201102000150009 - 10)

First author: JIANG Yang, female, born in 1980, master, senior engineer. Email: Jiangyang_tqt@163.com.

Corresponding author: XING Guangfu, male, born in 1965, PHD, research fellow. Email: njxgfu@163.com

Manuscript received on: 2015-01-30; Accepted on: 2016-03-20; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2016.03.016