

文章编号:1671-4814(2015)02-089-09

临海国家地质公园晚白垩世翼龙及鸟类 生存环境分析*

张 岩, 齐岩辛
(浙江省地质调查院, 杭州 311203)

摘要:临海浙江翼龙及长尾雁荡鸟化石赋存于浙东小雄盆地晚白垩世形成的地层中。通过对比化石骨骼结构及生态习性,结合对地质背景、古地理、古生态环境及化石产地剖面岩性岩相、沉积构造、化石赋存状态、古植物及孢粉组合等研究认为:小雄盆地继承了早白垩世晚期永康期陆相盆地的构造格局,晚白垩世小雄早期,盆地间分布众多残存的湖泊沼泽,它们是翼龙类和鸟类最后的栖息地。受间歇性火山喷发影响,空落相火山碎屑物导致的湖泊萎缩及沼泽化、水体酸化、气候干热等是造成生活在湖泊沼泽周边和翱翔于天空中的翼龙及鸟类集群死亡的主要因素。小雄中晚期,浙东地区经历了较大规模的酸性岩浆喷溢及火山喷发堆积,为临海国家地质公园流纹岩地貌演化奠定了物质基础。

关键词:临海浙江翼龙;长尾雁荡鸟;古生态环境;临海国家地质公园

中图分类号:P536

文献标识码:A

1986 年,浙江省临海市上盘镇岙里村青年农民徐成法在岙里村后山采石场内开石取料时,发现了一个较完整的脊椎动物化石的骨架,随即报告至浙江自然博物馆。浙江自然博物馆多次派遣研究人员现场考查,确认该脊椎动物化石归于白垩纪的翼手龙类。随后,在开石取料过程中又陆续采获了四具完整程度不一的翼龙化石骨架及一些零散的骨骼。后经蔡正全等人研究^[1],定名为临海浙江翼龙(*Zhejiangopterus linhaiensis* sp. nov.),属翼龙新属、新种。

1988 年,在该地又发现了不同于浙江翼龙的新脊椎动物化石,经蔡正全等人研究^[2],命名为长尾雁荡鸟(*Yandangornis longicaudus* sp. nov.),属鸟类新属、新种。

1989 年,该化石发现地被浙江省政府公布为“临海翼龙化石产地保护区”,并对产地立碑保护。结合古生物化石研究,相继开展了化石产地及区域地层单位的归属及火山岩年代学的深入研究^[3-5]。

2002 年,化石产地联合周边典型火山岩地貌共

同申报并成为国家地质公园。

2012 年,“临海浙江翼龙”化石被国土资源部列入《国家重点保护古生物化石名录(首批)》,属重点一级保护古生物化石。

临海国家地质公园及周边区域翼龙及鸟类生存环境的分析,主要依据于地质环境的调查工作。本文结合化石产地地层剖面、岩性岩相、化石赋存状态、沉积构造和古植物及孢粉等重要信息,从脊椎动物结构及生态习性和地质环境方面入手,分析研究了地质公园区域内晚白垩世早期翼龙和鸟类生存所处的地质背景,以及古地理、古生态和古气候环境的变化,希望对临海国家地质公园内翼龙和鸟类的生存环境有更加清晰的认识。

1 地质背景

浙江沿海地区属于华夏古陆。早白垩世早期,处于活动大陆边缘构造环境,受古太平洋板块俯冲影响,经历了大规模的火山爆发和岩浆侵入,堆积一套巨厚的火山碎屑岩类夹酸性熔岩,为磨石山群火

* 收稿日期:2014-09-22 改回日期:2014-10-22 责任编辑:谭桂丽

基金项目:全国重要地质遗迹调查项目“华东地区重要地质遗迹调查(浙江)”(项目编号:1212011220045)资助。

第一作者简介:张岩,1961 年生,男,高级工程师,从事区域地质调查、地质遗迹资源调查和评价工作。

山岩系；早白垩世晚期至晚白垩世早期，区域构造活动以地壳伸展拉张为主，形成众多断陷沉积盆地和火山构造洼地，堆积一套永康群和天台群火山-沉积岩系，区域上属于活动大陆边缘构造环境。

临海国家地质公园位于浙江东部沿海小雄盆地，北部和南部分别与三门湾和台州湾接壤，东部与海相邻，区域上处于北北东向温州-镇海断裂和北北东向平阳-普陀断裂之间，盆地火山岩地层同位素测年为 $91.4 \sim 81.5 \text{ Ma}^{[6]}$ ，属晚白垩世早期天台群。小雄盆地具有继承发展演化的特点，早白垩世晚期为断陷沉积构造洼地，沉积了一套巨厚的陆相碎屑物组合，地层为永康群馆头组和朝川组。在此基础上，晚白垩世，盆地发展为火山构造洼地（图 1），早期堆积了一套火山-沉积岩系，中晚期为岩浆喷溢和火山喷发，堆积了一套喷溢相碱长流纹岩、粗面岩和空落相流纹质含角砾玻屑凝灰岩，属天台群小雄组地层，两者在时空上具有明显的先后叠置关系。

晚白垩世小雄组为临海国家地质公园内桃渚火山喷发区的主体地层，按火山喷发类型、方式、韵律及岩性组合特征，地层组自下而上可划分为三个岩性段。

第一岩性段 (K_2x^1)：分布在桃渚喷发区西、南部。其下部为砂砾岩、粗面流纹质集块岩、凝灰岩角砾岩夹少量弱熔结凝灰岩组成；中上部为沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩、黑色含炭质泥岩为主夹少量流纹质晶屑凝灰岩组成，为临海浙江翼龙和长尾雁荡鸟化石赋存层位。地层岩石单矿物 K-Ar 法年龄测定为 $81.5 \text{ Ma}^{[3]}$ ，时代属晚白垩世早中期。

第二岩性段 (K_2x^2)：分布于桃渚喷发区中部地区，分布面积最大，岩性组合以石泡流纹岩、球泡流纹岩、流纹岩为主。根据地层剖面岩流单元划分，经历了 4~5 次大规模的岩浆喷发溢流。流纹岩是临海国家地质公园及周边分布最广泛的地层，是组成临海地质公园流纹岩地貌景观单元重要的物质基础。

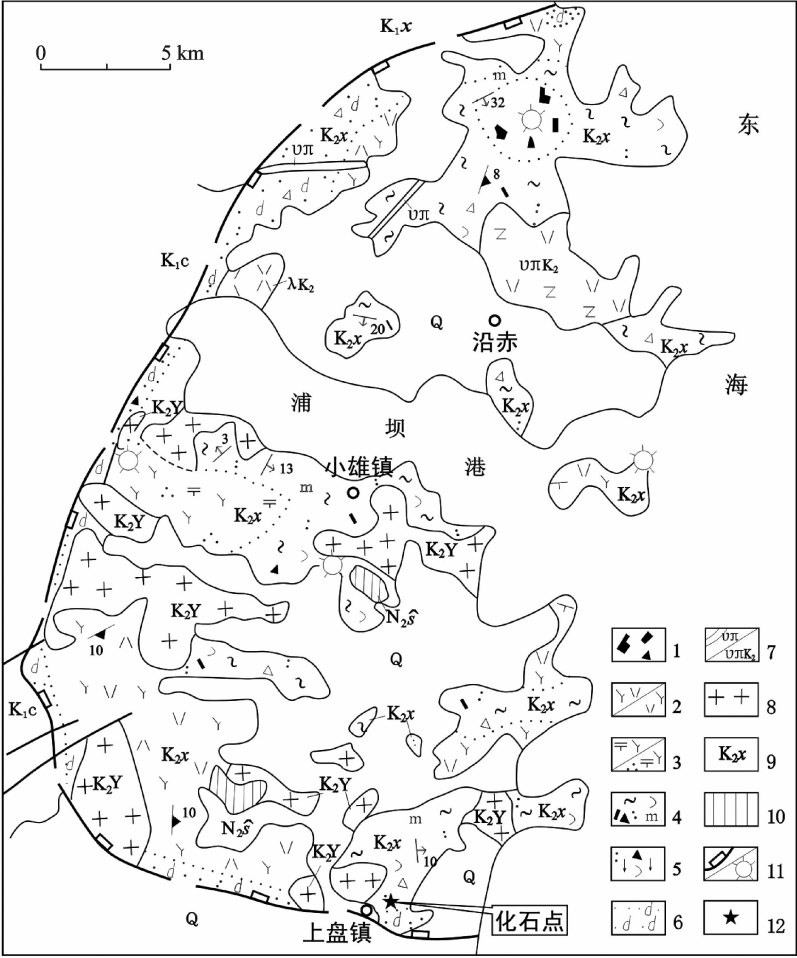


图 1 小雄盆地火山构造洼地岩相略图^[6]

Fig. 1 Lithofacies sketch map of volcano-tectonic depression in Xiaoxiong basin
1-崩落相角砾集块岩；2-喷溢相流纹斑岩、碱长流纹斑岩；3-喷溢相粗面斑岩、石英粗面斑岩；4-火山碎屑流相含角砾含晶玻屑熔结凝灰岩；5-空落相含角砾凝灰岩；6-喷发沉积相凝灰质粉砂岩、沉角砾凝灰岩；7-潜火山岩；8-侵入岩；9-地层代号；10-上旋回火山岩；11-V 型火山构造洼地/火口；12-化石点

第三岩性段(K_2x^3):出露于桃渚喷发区的东北部地区,分布局限,岩性组合为粗面流纹质玻屑凝灰岩、流纹质含集块角砾岩、流纹质角砾凝灰岩夹砾岩、砂砾岩、中细砂岩和粉砂岩。

2 化石特征

2.1 临海浙江翼龙

临海浙江翼龙(*Zhejiangopterus linhaiensis* sp. nov.)属大型翼龙类。化石分类为爬行动物纲—翼龙目—神龙翼龙科—浙江翼龙属—临海浙江翼龙。化石特征为:两翼展翅达 5m 以上;头骨低而长,前颌上部直至后顶端浑圆,未发育中棱或其它嵴状构造;鼻孔与眼前孔连合成一个卵形大孔,约占头骨全长的 1/2;喙细长尖锐,无牙齿;颈长,由 7 个细长颈椎组成;6 个背椎组成的联合背椎;荐椎愈合,尾极短;胸骨薄,具龙骨突;有 6 组“人”字形腹肋;腰带为典型的无齿翼龙式;前肢强壮,肱骨粗短,三角嵴发育,翼掌骨长于尺骨和挠骨;股骨细长,几乎为肱骨长度的 1.5 倍^[1,7](图 2)。

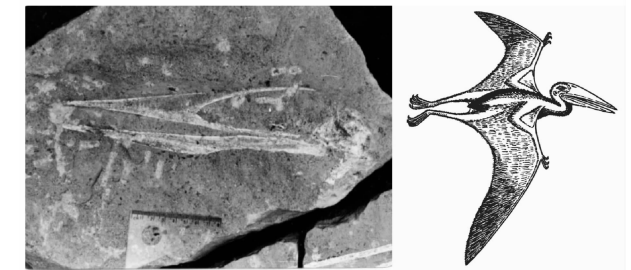


图 2 临海浙江翼龙头骨化石及复原图^[7]
Fig. 2 Skull fossil and reconstruction drawing of *Zhejiangopterus linhaiensis*

2.2 长尾雁荡鸟

长尾雁荡鸟(*Yandangornis longicaudus* sp. nov.)属大型鸟类。化石分类为鸟纲—蜥鸟亚纲—雁荡鸟目—雁荡鸟科—雁荡鸟属—长尾雁荡鸟。化石特征为:头骨骨片薄,长约 50 mm,颌无齿;颈长约 80mm,由 9 枚颈椎骨组;前肢不缩短,肱骨没有气窝孔构造;胸骨长而宽,有侧突,具腹肋;趾骨较细长但爪较短,跗跖骨基本愈合,跗跖骨之长约为胫跗骨的 1/2;尾长,达 305 mm,由 20 枚尾椎骨组成,其中 19 枚保存完好,前部椎体较短,具短的椎体横突,双凹型。它是迄今为止除德国发现的始祖鸟外,中生代所发现的完整鸟化石中唯一具有如此长尾的鸟化石^[2](图 3)。



图 3 长尾雁荡鸟骨骼及复原图^[2]
Fig. 3 Skeleton and reconstruction drawing of *Yandangornis longicaudus*

3 生存环境分析

3.1 生物生态习性分析

(1)临海浙江翼龙生态习性
临海浙江翼龙,头骨低而长,上部平直,后端圆,没有中棱、突起或嵴状构造。喙细长、尖锐,未发育牙齿。研究表明,具有长而尖的喙,无齿而平直的上、下颌,或具有长短错落排列的牙齿,均以食鱼或浮游生物为生。对比分析认为,临海浙江翼龙显然属于食鱼或浮游生物的无齿型翼龙。

为适应飞翔的需要,翼龙具有许多类似鸟类的骨骼特征,如头骨多孔,骨骼中空轻巧,胸骨发达等,临海浙江翼龙发育有较宽的胸骨和腹肋,有鸟一样的龙骨,肢骨中空,减轻重量,适于飞翔。翼龙并不能像鸟类那样自由地,长距离地翱翔于蓝天,只能在它的生活环境附近,如海边或湖泊沼泽附近的丘陵或树林中滑翔,经常在水面上盘旋掠食鱼类。

近年来的研究表明^[8],我国内蒙古宁城发现的全身覆盖“毛”的“宁城热河翼龙”完整骨架以及新疆哈密地区发现的翼龙类蛋,其宏观形态特征及其蛋壳显微结构的研究,直接证明了翼龙属热血恒温动物,以卵生的方式繁殖后代,适合于湖泊或者海滩环境,填补了翼龙繁殖行为和生态习性研究上的空白。

(2)长尾雁荡鸟生态习性

对长尾雁荡鸟骨骼化石特点^[2]进行分析,我们认为,从适应功能方面分析,绝大多数早白垩世鸟类为适应飞行具有比较进步的前肢和比较落后的腰带及后肢,而长尾雁荡鸟,在其前肢、腰带和后肢等骨骼结构上,没有显示出向进步的飞翔方向发展,其中,前肢构造没有明显的进化,其游离指爪很小,脚爪不甚钩曲,显示了它已失去其祖先攀缘树木的能力,也就丧失了了在树间滑翔的可能。一条沉重的长

尾,难以飞翔上空,受此种形态构造上的影响,只能在灌木丛中或河湖边缘的陆地上生活。从生态习性方面分析,长尾雁荡鸟后肢较为发达,其各部位构造相对进步,但它的趾骨较短,爪小,跗跖骨相对短而宽,胫跗骨长等,显示出长尾雁荡鸟是适应地栖生活的一种原始鸟类。因此,长尾雁荡鸟与以树栖生活为主的祖先有极大的生态习性差异。

综上所述,临海浙江翼龙和长尾雁荡鸟均处在生物演化的不同阶段,在骨骼演化和生物体形功能及生态习性方面,都必须适应特定的生存环境,由此认为它们最理想的生存栖息地应是湖泊沼泽环境。

3.2 古地理环境分析

根据临海国家地质公园及周边出露地层分析,在上盘、杜桥、麻车、九宫岙、牛路头、上山头、下山头和方山等地,早白垩世晚期永康群馆头组和朝川组地层均有零星分布或出露,它们围绕地质公园内小雄组地层分布。在公园中心部位,经剥蚀后裸露有下伏永康群朝川组地层,两者在区域上呈现不整合接触关系,这表明在早白垩世晚期永康群陆相沉积盆地萎缩、消亡后,仍然经历了一个地壳抬升和构造侵蚀剥蚀过程,盆地处在准平原化阶段,而晚白垩世早期小雄组地层是叠加在早期永康群陆相盆地之上的一套火山-沉积岩系,盆地古地理格局经历以下三个阶段(图 4)。

晚白垩世小雄早期:公园及周边继承了早白垩世晚期永康群陆相盆地沉积结束后的基本地理格局,即典型的盆地-山岭地理格局。盆地四周为山岭所包围(主要为早白垩世早期磨山群西山头组和九里坪组),盆地内部经历了永康群盆地结束后的准平原化阶段,其间残留有众多零星分布的低洼沉积盆地,它们分布在上盘岙里、桃渚镇和杜桥等地,低洼之处仍然保留有残存的河流、湖泊和沼泽相沉积,岙里村北剖面,底部砾岩、砂砾岩夹粉砂岩,代表了盆地初期冲积堆积特点;中上部粉砂岩、泥质粉砂岩、含碳泥质岩与沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩互层,发育水平沉积韵律层、微细水平层理、沙纹层理和波痕等,地层岩性结构反映了间歇性湖泊沼泽环境下的火山喷发沉积特点,对残余湖泊和沼泽产生较大的影响,使其由湖泊阶段向沼泽化湖泊阶段演化,最后导致沼泽化湖泊被彻底充填消亡。

晚白垩世小雄中期:火山活动规模进一步加强,其喷发方式主要表现为较大规模的岩浆喷溢伴随火山喷发堆积,由众多火山口向地表喷溢富含挥发份气体,粘稠的酸性岩浆熔岩,组成若干个巨厚的熔岩流单元,覆盖整个公园及周边区域。熔岩流产状总

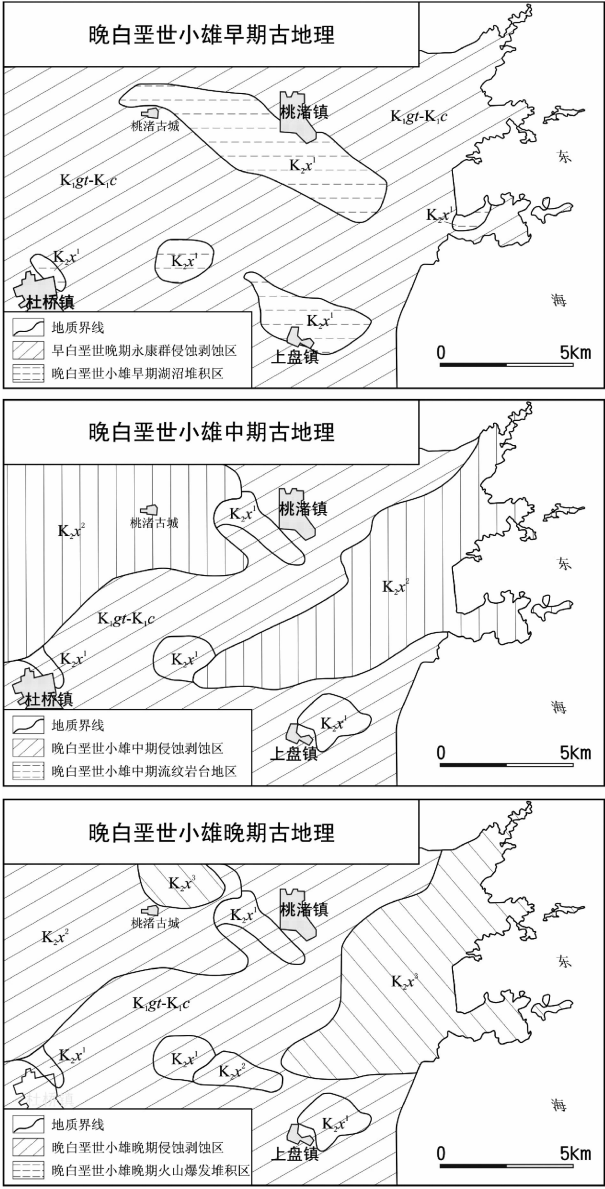


图 4 临海国家地质公园及周边晚白垩世古地理环境
Fig. 4 Paleogeographic environment of late Cretaceous in Linhai national geopark and peripheral areas

体平稳,也反映了原始盆地地形面平坦的特点。经过较长期的酸性岩浆喷溢,形成了大面积分布的流纹岩台地地貌格局,改变了早白垩世晚期永康群盆地的古地理格局,即流纹岩构成了盆地新的地形面,总体呈现平坦开阔的台地,奠定了临海国家地质公园地貌演化的物质基础。

晚白垩世小雄晚期:火山活动总体减弱,喷发活动集中于少数几个火山口,喷发方式主要为爆发形式,伴随有石英正长岩的侵入,火山岩堆积物主要有含集块角砾凝灰岩、含角砾玻屑凝灰岩等,为空落相成因,分布在大尖山一带,范围相对局限,尔后整个火山喷发活动结束。晚期火山活动对公园区域古地

理格局影响相对较小,除大尖山—龙湾滨海和桃渚古城北部地区覆盖巨厚的火山碎屑物外,其它地区仍保留小雄中期流纹岩台地的地理格局,平坦的流纹岩台地处于强烈的侵蚀剥蚀阶段。

综上所述,临海国家地质公园及周边,早白垩世晚期(永康群陆相盆地)为典型的盆地—山岭古地理格局;小雄早期为残余河流、湖泊—沼泽和盆地准平原化地理格局;小雄中晚期,形成了由酸性岩浆喷溢和火山喷发堆积分布的平坦开阔的流纹岩台地格局。晚白垩世小雄盆地属于典型的“V”型火山构造盆地,地理地貌格局的改变,破坏了盆地内动植物赖以生存的湖泊—沼泽环境。

3.3 化石赋存地层环境分析

(1)剖面特征

临海国家地质公园内化石产地地层属于晚白垩世小雄组早期地层,为火山—沉积岩系,剖面地层 K-Ar 法同位素测年为 81.5Ma^[3]。岙里村北小雄组一段剖面^[4]如下:

- 未见顶厚度>127.5 m
- ⑥中上部浅灰色沉凝灰岩、凝灰质细砂岩,粉砂岩组成韵律层,夹多层薄层状黑色炭质泥岩、粉砂质泥岩,偶夹透镜状流纹质凝灰岩;沉积岩发育交错层,沙纹层、微细水平层理及波痕,产翼龙化石;下部为流纹质熔结凝灰岩,厚度 1~2 m。7.0 m
- ⑤由灰色薄至中厚层状流纹质晶屑凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩组成多个韵律层产出,沉积岩中发育微细水平层理及交错层理。3.5 m
- ④灰色薄至中厚层状沉凝灰岩、凝灰质含砾岩屑砂岩和粉砂质泥岩互层,发育微细水平层理、沙纹层理。15.0 m
- ③浅灰紫色流纹质玻屑凝灰岩,发育微弱的假流纹构造。20.0 m
- ②浅灰色流纹质含集块角砾凝灰岩、含角砾凝灰岩。集块、角砾呈现棱角状,混杂堆积,往上含量减少,砾径变小。50.0 m
- ①砾岩、砂砾岩夹透镜状粉砂岩。砾石具棱角至次棱角状,大小不一,无分选性,为砂泥质胶结,局部见交错层及冲刷构造,与下伏地层呈不整合关系,砾岩具底砾岩性质。32.0 m

————— 不整合接触 —————

下伏地层:永康群朝川组:砂岩、粉砂岩及砂质泥岩。

受岙里村北剖面测量的限制,本次研究未能对第⑥层化石层进行大比例的详细测量。通过对化石层延伸追索,在岙里村西侧约 400 m 处,测量了翼

龙及鸟类化石层的地层剖面。化石赋存地层第⑥层自上而下阐述如下(图 5):

- 未见顶厚度>7.17 m
- ⑥-11 灰黄色凝灰质细砂岩,岩石呈厚层状-块状,其间发育水平层理,波状层理。本层产翼龙及鸟类化石。1.10 m
- ⑥-10 灰黄色沉凝灰岩与灰黑色炭质泥岩互层状,发育水平层理,中部夹厚约 5 cm 凝灰质细砂岩,泥岩单层厚约 2~5 mm。0.20 m
- ⑥-9 灰黄色凝灰质细砂岩,发育水平层理。0.22 m
- ⑥-8 灰黄色凝灰质细砂岩夹多层灰黑色炭质泥岩,薄层状泥岩呈线状产出,发育微细水平层理、沙纹层理。0.20 m
- ⑥-7 灰黄色凝灰质细砂岩,中部夹厚 5~15 mm 灰黑色炭质泥岩层,发育沙纹层理及微细水平层理。0.75 m
- ⑥-6 灰绿色沉凝灰岩、灰黑色炭质泥岩互层,炭质泥岩单层厚 1~2 mm,沉凝灰岩单层厚 5~10 mm,其间发育微细水平层理及沙纹层理。1.0 m
- ⑥-5 灰白色流纹粗面质含角砾玻屑凝灰岩,角砾呈棱角状,含量约 10~15%,大小在 0.5~1 cm 之间。0.70 m
- ⑥-4 灰黄色沉凝灰岩夹灰黑色炭质泥岩,泥岩单层厚 1~3mm,呈线状产出。其间发育沙纹层理及微细水平层理。0.45 m
- ⑥-3 灰黄-灰色沉角砾岩,角砾含量在 50%以上,呈棱角状,大小在 1~3 cm。0.10 m
- ⑥-2 灰黄色沉凝灰岩夹极薄层黑色炭质泥岩产出,发育微细水平及沙纹层理。0.15 m
- ⑥-1 灰色流纹质含晶屑玻屑熔结凝灰岩,熔结条带清晰。2.30 m
- ⑤由灰色薄至中厚层状流纹质晶屑凝灰岩、沉凝灰岩。

在⑥-1 层流纹质含晶屑玻屑熔结凝灰岩之下岩层对应于岙里村剖面第⑤层,本层向下约 15 m 处,见有小雄组一段底部砂砾岩、砂岩层,岩石具交错层理,与岙里村北小雄组剖面底部砾岩层属同一层,表明小雄盆地早期在盆缘地带较普遍发育一套河流及冲积扇相沉积,符合盆地的演化特征。

通过对小雄组早期地层剖面及化石赋存地层剖面测量,认为临海国家地质公园处于小雄盆地南部盆缘地带,底部一套砾岩、砂砾岩夹透镜状砂体组合,代表小雄盆地早期盆缘河流及冲积扇相堆积,这在早期陆相盆地边缘较常见;下部堆积了一套含集

块角砾凝灰岩和流纹质玻屑凝灰岩，碎屑物粒径向上变细，反映了此时周边区域有火山爆发活动，火山物质具有空落堆积之特点；上部由沉凝灰岩、凝灰质粉砂细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩组成，夹多层黑色炭质泥岩、流纹质玻屑熔结凝灰岩，呈现现象频繁互层产出，代表一套湖泊沼泽或低洼积水盆地沉积，其间始终受区域性火山喷发影响，有大量的火山灰空落于湖泊低洼积水盆地内。翼龙、鸟类和其它动植物就埋藏于小雄组一段上部地层。

(2)剖面岩相分析

从化石产地地层剖面结构、岩石组合、环境指示沉积物和指相沉积构造特征分析，可系统地获得化石产地当时的古生态环境、古地理环境及古地质环境等信息(图 5)。

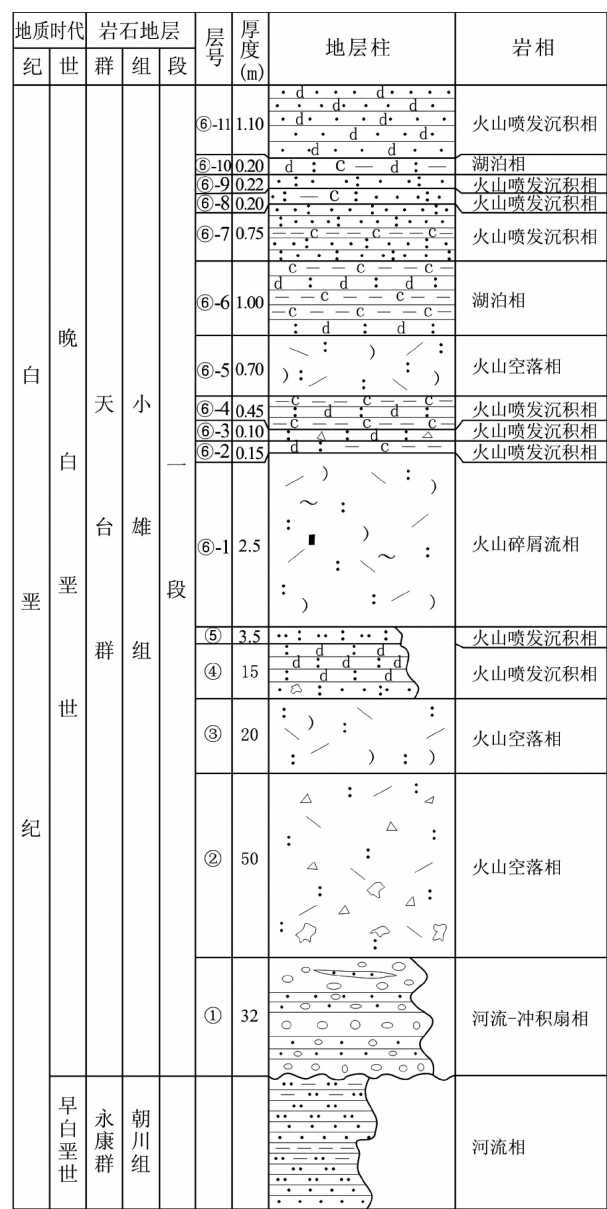


图 5 化石赋存地层岩相柱状图

Fig. 5 Lithofacies column diagram of the fossil beds

剖面底部砾岩、砂砾岩夹粉砂岩，其砾石成分复杂、形态大小不一、砾石呈棱角状或次棱角状，分选性差，为砂泥质胶结。砾岩及砂砾岩总体不显层理构造，局部见有大型交错层理和冲刷构造，它代表了盆地早期盆缘或低洼积水盆地边缘的一套河流或冲积扇相堆积，这也证明了在临海国家地质公园内存在低洼积水区域，而后逐步演化成湖泊沉积。

剖面下部为火山碎屑岩类，代表这一时期区域性火山活动的开始。区域上晚白垩世早期浙江境内，火山活动主要集中在少数几个火山构造盆地内，其中小雄盆地表现尤其明显，盆地受火山爆发影响，堆积了大量的火山碎屑物。剖面地层及火山物粒级显示，火山物质属空落堆积，火山口位置距离低洼积水盆地相对较近。

剖面上部地层岩性岩相组合，指示了沉积盆地经历了一个相对频繁的火山喷发间歇期，在湖泊及低洼积水区域，间歇性的火山喷发，导致火山灰频繁空落其中，形成的薄层状沉凝灰岩、凝灰质粉砂细砂岩与湖泊沼泽相黑色炭质泥岩、粉砂岩和粉砂质泥岩交替产出，组成韵律层，其间发育微细水平层理、交错层理和沙纹层理，具有典型的湖泊沉积特点。

岩石韵律层：呈细纹状或微纹状产出组成，主要由粉砂岩、粉砂质泥岩、凝灰质粉砂岩、沉凝灰岩和炭质泥岩互层组成，韵律层一般厚度为 0.5~1 cm，这种韵律产出反映了水体沉积具有良好的分选性及平静的水体环境，只有在弱流水作用或湖泊沉积作用条件下才能形成。频繁出露的沉凝灰岩类，反映湖泊沼泽区域受火山间歇性喷发影响较大。

交错层理和波痕构造：前者说明积水盆地或湖泊环境存在着明显的弱牵引流作用，可能与流水搬运或湖水流向有着直接关系，一般产于浅湖或滨湖地带；后者波痕构造表明，属于湖泊水体中的浪成波痕，它形成于湖泊环境之滨浅湖浪基面之上，具有一定深度。

微细水平层理：表明沉积环境处于相对平静的水体中，水体稳定并具一定深度，水动力条件较差，其沉积环境可能处于低洼积水盆地或相对较深的湖泊中心位置。

黑色炭质泥岩层：指示还原环境沉积的特点，其一可能存在于欠补偿的较深湖环境，有机物通过流水搬运带入湖泊深水区，然后被泥沙埋藏后形成；其二可能存在于由最大湖泛导致的盆地边缘沼泽化环境，湖泊边缘沼泽区域有利于植物生长，植物就地被泥沙埋藏后形成黑色炭质泥岩。

总之，小雄盆地是在早白垩世晚期永康群盆地

的基础上发展而来,具有继承性特点。晚白垩世小雄早期,经历过一段短暂的湖泊-沼泽沉积过程,剖面岩性岩相组合、沉积构造等特征记录了这一完整的过程。

3.4 古生态环境分析

(1)植物及孢粉组合分析

小雄组:下段灰黑色炭质泥岩中富含植物和孢粉^[4],植物化石主要有松柏类掌鳞杉科 *Pseudofrenelopsis pareeranosa* (Eontaine), *P. papillosa* (Zhow et Tsao) 和坚叶杉属 *Pagiophyllum* sp., *Cupressinocladus* 等。孢粉组合以裸子植物花粉为主,其中 *Classopollis* 含量最多,次之为 *Exesipollenites*,另伴有少量 *Psephosphosphaera*, *Sphaeripollenites*, *Monosulcites*, *Peripollenites*, *Pityosporites*。

朝川组:在岙里村剖面点南侧金杏墩村附近(即小雄组下伏朝川组地层)采集到孢粉化石^[5],经何圣策鉴定,其组合为:被子植物花粉(23 %): *Caryapollenites* sp., *Qerlodites* sp., *Ulmipollenites* sp.;裸子植物花粉(35 %): *Taxodiaceapollenites hiatus*, *Podocarpidites* sp., *Ephedripites* sp., *Inaperturopollenites* sp., *Ireticulatus* sp., *Classopolis aunulatus*;蕨类植物孢子(42 %): *Schizaeosporites certus*, *S. rotundus*, *Schizalandyesis*, *Cicatricosissporites miutaetriatus*, *Schiaosporis* sp,少量 *Aquilai polleneite* sp.。

小雄期:掌鳞杉科植物化石 *Pseudofrenelopsis* 主要生长于有季节变化、盐度相对较高或较为干旱的环境^[9];而孢粉组合以克拉梭粉(*Classopollis*)和隐孔粉(*Exesipollenites*)为主,缺少代表温热气候环境的 *Cicatricosissporites* 和 *Schizaeosporites* 分子,显示了气候条件处于干热环境^[10]。朝川期:掌鳞杉科中代表干旱环境的 *Classopolis* 较少见,约占裸子植物花粉总量 5.31%;而代表温热气候环境的蕨类植物孢子海金沙科 *Cicatricosissporites* 和 *Schizaeosporites* 较普遍存在,占蕨类植物孢子总量 76.2%,显示了早白垩世晚期温热气候环境的特点。

综上所述,临海国家地质公园及周边区域性气候,由早白垩世晚期温热向晚白垩世早期干热气候环境变化,而导致晚白垩世早期干旱或半干旱气候环境,与这一时期火山喷发因素有一定关系。

(2)化石埋藏环境分析

化石的埋藏相,即属外来搬运埋藏还是原地死亡埋藏。根据化石的产出形态及周边环境分析,认为是某种灾变导致的集群死亡。根据埋藏形态、完

整性及周边沉积环境分析,属于原地死亡埋藏的可能较大,理由如下:

①化石埋藏于同一地点、相同层位,由多具翼龙骨骼和鸟类组成,呈现集群灭绝,这表明它们死亡于同一时间、同一事件。化石骨骼总体保存完整,表明是集体就地死亡后,未经历搬运或长距离的流水搬运,生物是在腐烂前被沙泥及火山灰快速掩埋。化石赋存地层为火山灰沉积物与正常湖泊沼泽相互层产出,表明当时火山喷发堆积相对频繁,大量的火山灰从远处火山口飘浮而来,空气中弥漫着火山灰尘及有毒气体,长期持续地笼罩在湖泊沼泽区域上空,导致大量的生物窒息或中毒死亡,同时被空落的火山灰快速掩埋。

②化石产地地层岩石组合、沉积构造、植物和孢粉等特点,反映此时此地属于低洼积水区域,具有湖泊沼泽生态环境特点,在区域性干旱或半干旱气候环境下,湖泊沼泽区,更能够吸引大量的翼龙和鸟类动物来此地筑巢栖息。突发性的火山喷发,破坏了湖泊沼泽区的生态环境,导致动物就地死亡,埋藏于湖泊沼泽之中。

③生物集群死亡使大量有机质集中并分解,消耗了氧气,产生缺氧环境,从而减缓了生物体的再腐烂。粘土与有机物质分子相互吸附作用,对有机物质起保护作用,这有利于翼龙及鸟类化石的埋藏。

(3)古生态环境分析

通过化石产地地层剖面结构、岩性岩相、植物及孢粉组合和化石埋藏环境等分析,晚白垩世小雄盆地早期继承了早白垩世晚期永康群陆相盆地的地形地貌格局,仍分布众多残存湖泊沼泽及低洼积水区域。岙里化石赋存地层剖面记录了湖泊及沼泽化的过程。这一时期受区域性频繁火山喷发影响,临海国家地质公园及周边湖泊沼泽化现象严重,水体变浅呈现停滞状态,植物生长受到影响,湖泊沼泽生态环境遭受破坏,植物及孢粉组合记录了公园及周边为干热的半干旱—干旱气候环境。临海国家地质公园区域湖泊发展演化过程不完整,在较短时间内湖泊被火山灰充填,湖泊逐渐演变为沼泽化,同时也导致湖泊水体酸化,气候干热,依赖于湖泊沼泽环境生存栖息的翼龙和鸟类集群死亡,被空落火山灰快速掩埋,尔后公园及周边区域发生了大规模的区域岩浆喷溢和火山爆发堆积,彻底改变了先前的湖泊沼泽生态环境格局。

3.5 古火山喷发对生态环境的影响

研究资料表明^[11-12],白垩纪北方热河生物群

(K₁)的演替与多期次火山—岩浆活动密切相关,湖泊及沼泽均发育在短暂的火山活动间歇期,化石被埋藏于火山—沉积岩中,呈现集群埋藏,这与火山—岩浆活动事件有直接关系。临海国家地质公园所处的晚白垩世小雄盆地属拗陷型火山构造洼地,火山喷发、喷溢及岩浆活动不仅改变早期盆地古地理环境,同时也直接改变区域气候和生态环境。小雄早期小规模频繁的火山喷发活动影响拗陷盆地生态环境,湖泊环境受火山碎屑物的充填以及火山喷发导致区域气候的干热,湖泊处于半干旱或干旱环境,湖泊渐渐地向沼泽环境演化,最终为火山碎屑物充填。

对小雄盆地及早白垩世喷发相火山碎屑岩、喷溢相球泡、石泡流纹岩和侵入相球泡、石泡流纹岩等岩石化学资料^{①②}的统计分析表明:浙江东部沿海白垩纪火山岩中 F、Cl、SO₃、CO₂ 等含量较高,喷溢相流纹岩 F 含量(230~1370)×10⁻⁶、Cl 含量(50~80)×10⁻⁶、SO₃ 含量(340~690)×10⁻⁶、CO₂ 含量(250~980)×10⁻⁶;流纹质火山碎屑岩类 F 含量(390~1000)×10⁻⁶、SO₃ 含量(440~670)×10⁻⁶、CO₂ 含量(230~1930)×10⁻⁶;其中小雄盆地粗面流纹岩、球泡流纹岩和潜火山岩类 F 含量普遍较高,为(480~1370)×10⁻⁶之间,这与酸性及粘稠岩浆本身富含挥发气体组份有关。另外浙东地区分布着众多的火山热液型萤石矿床以及喷溢相和侵入相流纹岩发育大量的球泡和石泡,均说明酸性及中酸性岩浆本身富含大量的挥发气体组份。

火山喷发和岩浆喷溢形成的火山灰尘和挥发性气体长期悬浮于大气中,直接降低了大气透明度,也改变了大气环流的正常动力学系统,对大气的辐射和环流、气温和降水量变异产生区域性影响。其中火山喷发带出的 F、Cl、SO₃、CO₂ 等化合物形成酸性水蒸汽对区域大气、水体造成严重污染,空落火山灰和火山碎屑物充填于湖泊,使湖泊沼泽化,水体酸化,最终导致湖泊消亡,对生存栖息湖泊沼泽环境的动植物而言都是灭顶之灾^[13]。

4 结语

(1)临海国家地质公园晚白垩世小雄期,经历了早、中、晚三个阶段的火山—沉积作用,小雄盆地在早白垩世晚期永康期陆相盆地的基础上演变而来,继承了早期盆地的地形地貌格局。小雄早期:在侵蚀剥蚀盆地基础上,盆地内存在着众多积水低洼或残存湖泊,仍具有沉积作用,它们分布局限,但仍继承了早期盆地湖泊沼泽的演化,它们是翼龙及鸟类动物重要的栖息地。小雄中期:公园内火山活动以

强烈的酸性岩浆喷溢为主,东部和西部均表现为大规模岩浆喷溢,酸性熔岩流覆盖了盆地绝大部分区域,厚度巨大,形成了临海国家地质公园内东部和西部流纹岩台地,为地质公园流纹岩地貌景观的形成奠定了物质基础。小雄晚期:火山活动以局部爆发式堆积为主,覆盖区域相对局限,空落相流纹质含集块角砾凝灰岩和流纹质含角砾玻屑凝灰岩,分布在大尖山—龙湾滨海和桃渚古城北部地区。

(2)对临海浙江翼龙和长尾雁荡鸟类化石的研究表明,此类脊椎动物从骨骼结构及生态习性方面来看,是较典型的食鱼或浮游生物,它们生存环境离不开湖泊沼泽环境。

(3)小雄早期湖泊沼泽相地层赋存有松柏类掌鳞杉科和坚叶杉属植物;孢粉组合以裸子植物花粉为主,其中 *Classopollis* 含量最多,次之为 *Exesipollenites*,显示了当时气候比较干热,区域气候属于干旱或半干旱环境,表明晚白垩世早期小雄早期继承和延续了早白垩世晚期的气候环境。

(4)根据化石产地地层剖面岩性岩相组合、沉积构造、化石埋藏、植物类型和孢粉组合等分析认为,化石产地地层沉积环境具有典型的沼泽化湖泊沉积特点,这与翼龙和鸟类生态习性是一致的。良好的湖泊沼泽生态环境是脊椎动物翼龙、鸟类以及其它生物生活、栖息和繁衍的理想场所。

(5)在地质公园内同一地点、同一地层,脊椎动物化石数量丰富,种类繁多,大小个体同时出现,表明这些生物死亡于同一成因的灾难性事件。化石埋藏地沉积物中富含大量的火山灰物质,为空落相火山灰或火山碎屑物,因此可推测,频繁的火山喷发事件导致湖泊沼泽化、水体酸化及区域气候干热是造成临海国家地质公园内脊椎动物就地集群死亡的主要原因。

注释

①浙江省区域地质调查大队. 1:20 万临海幅、渔山列岛幅区域地质调查报告(内部资料). 1980.

②南京地质矿产研究所. 1:25 万嵊县幅区域地质调查报告(内部资料). 2003.

参考文献

- [1] 蔡正全,魏丰. 浙江临海晚白至世—翼龙新属种[J]. 古脊椎动物学报,1994,32(3):181-192.
- [2] 蔡正全,赵丽君. 浙江发现晚白垩世—长尾鸟化石[J]. 中国科学(D 辑),1999,29(2):122-128.
- [3] 穆治国,蔡正全. 浙江翼龙化石层的 K-Ar 年龄及地质

意义[J]. 北京大学学报(自然科学版),1992,28(2): 250-256.

[4] 马武平. 对上盘翼龙化石赋存层位和隶属时代的探讨[J]. 中国区域地质,1990,(1):69-73.

[5] 何仲朗. 浙江临海上盘翼龙化石层及其时代[J]. 浙江地质,1992,8(2):5-11.

[6] 浙江省水文地质工程地质大队宁波矿勘院. 浙东沿海中生代火山—侵入活动构造演化及成矿规律[M]. 福州:福建省地图出版社,2002:47-98.

[7] 钱迈平. 华夏龙谱(14)—临海浙江翼龙(*Zhejiangopterus linhaiensis*)[J]. 江苏地质,2000,24(1):62.

[8] 汪筱林,周忠和,张福成,等. 热河生物群发现带“毛”的翼龙化石[J]. 科学通报,2002,47(1):54-58.

[9] 任文秀,孙柏年,李相传,等. 浙江白垩系两种掌鳞杉科化石微细结构及古环境意义[J]. 地质学报,2008,82(5):577-584.

[10] 邓胜徽. 中生代主要植物化石的古气候指示意义[J]. 古地理学报,2007,9(6):559-564.

[11] 巩恩普等. 辽西早白垩世早期热河生物群沉积环境及古地理综合研究[J]. 地质学报. 2007,81(1):1-8.

[12] 丁秋红,张立东,郭胜哲,等. 辽西北票地区义县组古气候环境标志及其意义[J]. 地质通报,2003,22(3):186-190.

[13] 柳永清,旷红伟,姬书安,等. 晚中生代地球表层重大地质事件的陆地环境剧变与生物群演替响应[J]. 地学前缘,2009,16(5):37-47.

An analysis of living environment of late Cretaceous pterosaur and birds in Linhai national geopark

ZHANG Yan, QI Yan-xin

(Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, China)

Abstract:Specimens of the pterosaur *Zhejiangopterus linhaiensis* and the bird *Yandangornis longicaudus* are found from upper Cretaceous strata in the Xiaoxiong basin in eastern Zhejiang Province. Having comprehensively analyzed these paleovertebrates’ ossatures, occurrences and ecological behavior, combined with paleobotany, sporopollen assemblages, sedimentary, lithofacies, palaeogeographical and palaeoecological environments, as well as geologic background of their locality, it is considered that the Xiaoxiong basin inherited geological tectonic framework in Yongkang period during late period of early Cretaceous, remnants of lakes and marshes spreaded all over the region, in where pterosaurs and birds living and multiplying during the early Xiaoxiong period of late Cretaceous. With intermittent volcanic eruptions, pyroclastic material accumulating and dry hot climate, lakes and marshes shrank, the ecological environmental degradation caused mass mortality of pterosaurs and birds. In mid-late Xiaoxiong period, a series of large-scale acidic magmatic erupted and volcanic cinder piled, laying the foundations for evolution of rhyolite landform in Linhai national geopark.

Key words:*Zhejiangopterus linhaiensis*; *Yandangornis longicaudus*; paleoecological environment; Linhai national geopark