

鲁东诸城地区晚白垩世恐龙集群埋藏地沉积相与埋藏学初步研究

柳永清¹⁾, 旷红伟¹⁾, 彭楠¹⁾, 姬书安¹⁾, 王旭日¹⁾、陈树清²⁾, 张燕霞²⁾, 许欢²⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 山东诸城旅游局, 山东诸城, 262200

内容提要: 鲁东诸城盆地白垩系由下向上包括林家庄组、辛格庄组和红土崖组。下白垩统林家庄组为杂色粗碎屑岩系; 上白垩统辛格庄组为杂色细碎屑岩系, 红土崖组为砖红色砂岩、砾岩互层沉积夹玄武岩(73.5 Ma), 为恐龙化石埋藏层位, 并与区域上莱阳青岛龙及恐龙蛋化石等产出层位可以对比。诸城地区晚白垩世时期主要为冲洪积沉积环境, 辛格庄组上部为洪泛平原粉砂岩—细砂岩—灰质土加积序列, 局部夹扇中辫状河砾岩、粗砂岩, 红土崖组下部与下伏辛格庄组顶部过渡部位是冲积扇泥石流、辫状河和洪泛平原粉砂泥质砾岩、砂岩加积沉积序列。识别出与冲积扇沉积体系相关的3种埋藏相类型: 冲积扇泥石流、洪泛平原和辫状河河道(砂砾岩), 前二者是研究区主要的埋藏相类型。所含化石主要为鸭嘴龙的残体骨骼, 个体大小参差不齐, 互相间可叠盖一起, 同时也有孤立发育的骨骼化石。高密度、单一类型恐龙残体骨骼化石的沉积、埋藏特征代表了恐龙集群埋藏—沉积事件。

关键词: 山东诸城; 晚白垩世; 恐龙化石; 沉积相; 埋藏相

50年代末, 杨钟健等在山东莱阳发现了产于上白垩统王氏群的青岛龙(杨钟健, 1958)。60年代初, “巨型山东龙”又在距莱阳之南西200余千米的诸城盆地被发现(胡承志等, 2001)。近年来, 在上述

产地也不断零星发现相关化石, 同时上述化石赋存地层和地质年代研究也取得了一定进展(刘明渭等, 1994, 2003; 李守军, 1998; 翟慎德, 2003; 赵喜进等, 2007)。

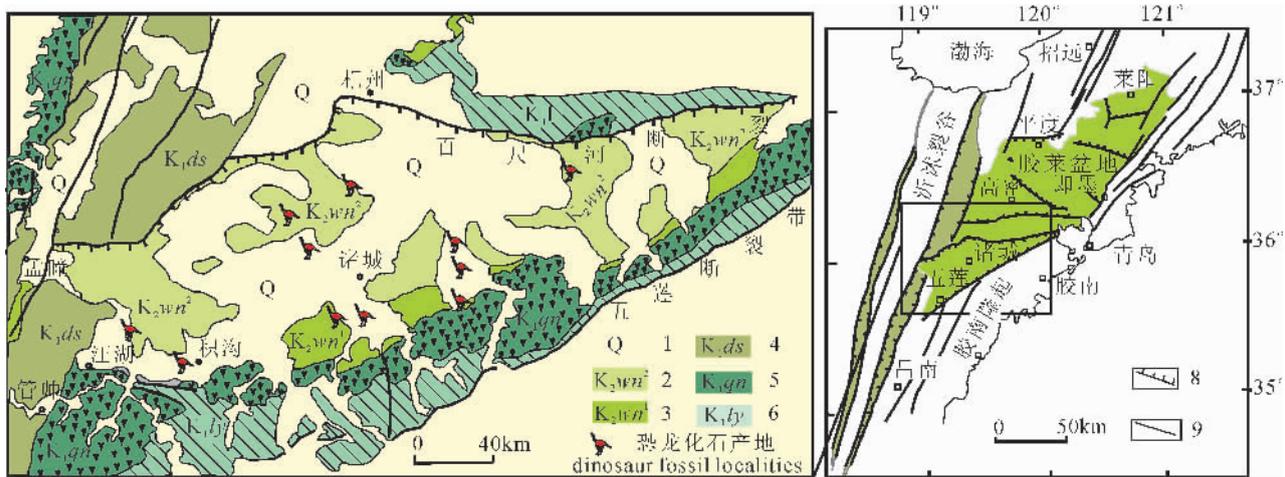


图1 研究区位置及区域地质—构造特征(示主要恐龙化石产地)(据张岳桥等, 2008, 修改)

Fig. 1 Schematic map showing the study location and regional geology (also dinosaur fossil localities)

(modified from Zhang Yueqiao et al., 2008)

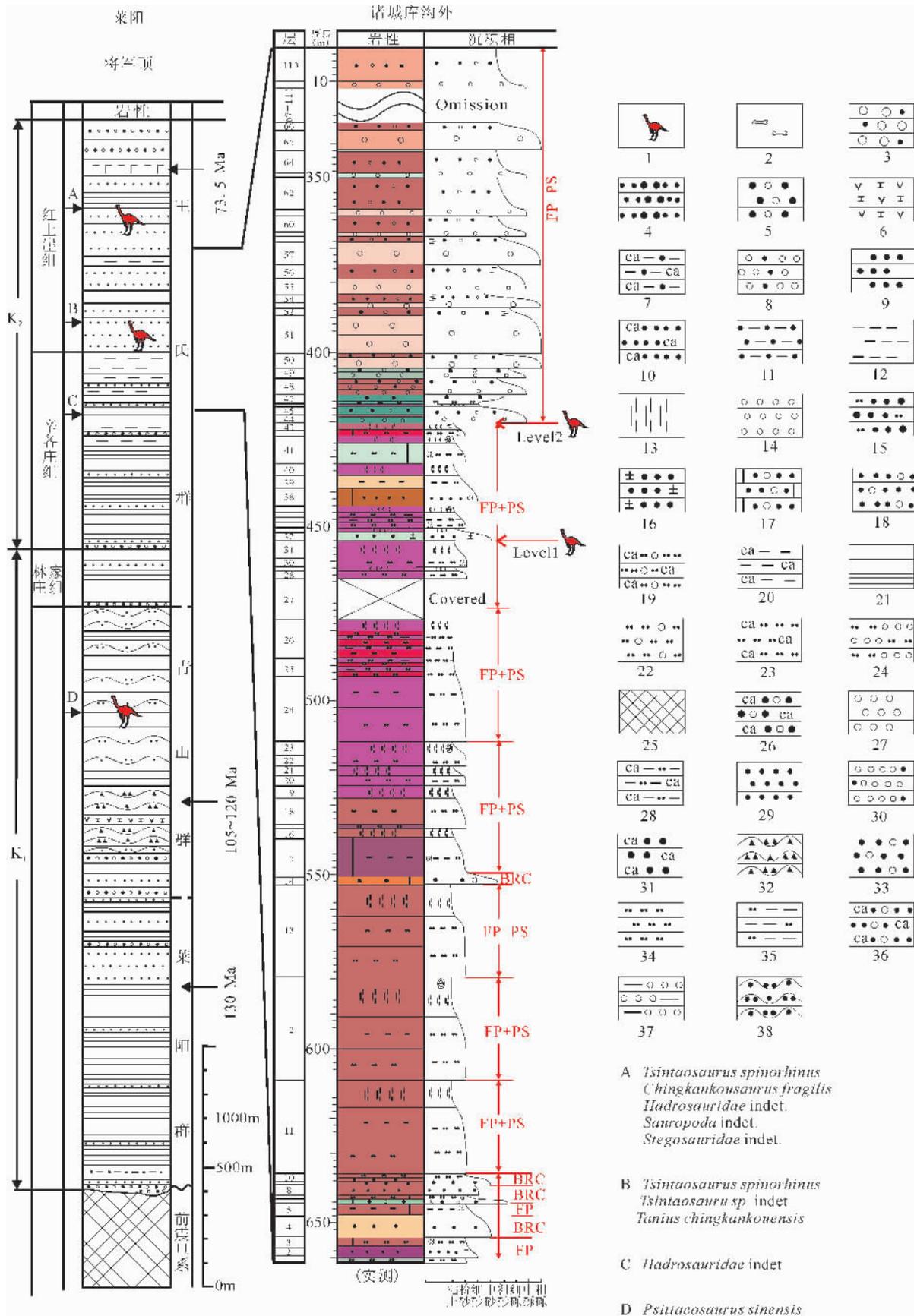
1—第四系; 上白垩统王氏群: 2—上段, 3—下段; 下白垩统: 4—大盛群, 5—青山群, 6—莱阳群;
7—恐龙化石产地; 8—正倾滑断层; 9—走滑断层

1—Quaternary; Upper Cretaceous Wangshi Group: 2—Upper Member, 3—Lower Member; Lower Cretaceous: 4—Dasheng Group, 5—Qingshan Group, 6—Laiyang Group; 7—dinosaur fossil sites; 8—normal and strip fault; 9—strip fault

注: 本文为国家自然科学基金重点项目(编号 90914003)、国家重点基础研究发展计划(编号 2006CB70145)的成果。

收稿日期: 2009-08-04; 改回日期: 2010-03-11; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 柳永清, 1960年生。研究员。主要从事沉积地质学、地层学研究。Email: liuyongqing@cags.ac.cn。



据杨钟建(1958)、李守军(1998)、张增奇等(1996)、刘明潜等(2003)、田俊等(2003, 2005)改编。

图 2 鲁东莱阳和诸城地区白垩系地层、沉积岩相序列和恐龙化石层位

Fig. 2 Stratigraphic, sedimentary columns and dinosaur fossil horizons, Zhucheng and Laiyang, Eastern Shandong

微相类型:DF—泥石流;FP—洪积平原;DRC—辫状河道;PS—灰质土。1—恐龙化石产出层位;2—零星骨骼化石;3—砂质粗砾岩;4—含粗砂细砂岩;5—含砾粗砂岩;6—粗面安山岩;7—含砂钙质泥岩;8—含砂砾岩;9—中砂岩;10—钙质细砂岩;11—页状砂岩;12—泥岩;13—古土壤;14—砾岩;15—不等粒砂岩;16—高岭土质中砂岩;17—钙质含砾砂岩;18—含砾细砂岩;19—含砾钙质粉砂岩;20—钙质泥岩;21—页岩;22—含砾粉砂岩;23—钙质粉砂岩;24—粉砂质砾岩;25—变质岩;26—钙质含砾粗砂岩;27—中砾岩;28—含粉砂钙质泥岩;29—细砂岩;30—砂质细砂岩;31—钙质粗砂岩;32—凝灰质角砾岩;33—含砾中砂岩;34—粉砂岩;35—粉砂质泥岩;36—含砾钙质细砂岩;37—泥质砾岩;38—凝灰质砾岩。Level 1 和 level 2:恐龙化石埋藏层位

Microfacies: DF—mud flow; FP—flooding plain; DRC—branch channel; PS—pedocal soil. 1—dinosaur fossil horizons; 2—isolated bone fossils; 3—sandy coarser conglomerates; 4—fine grained sandstones; 5—pebble coarser sandstones; 6—andesite; 7—sandy calcareous mudstones; 8—sandy conglomerates; 9—medium sandstones; 10—calcareous fine sandstone; 11—shale sandstone; 12—mudstone; 13—paleosol; 14—conglomerate; 15—varied grained sandstone; 16—kaolin sandstone; 17—calcareous pebble sandstone; 18—pebble fine sandstone; 19—pebble calcareous silt; 20—calcareous mud; 21—shale; 22—pebble silt; 23—calcareous silt; 24—silty conglomerates; 25—metamorphic rocks; 26—calcareous pebble sandstones; 27—medium conglomerates; 28—silty calcareous mudstones; 29—fine sandstones; 30—sandy fine conglomerates; 31—calcareous coarser sandstones; 32—tuffaceous pebble; 33—pebble medium sandstone; 34—silt; 35—silty mud; 36—pebbled calcareous fine sandstones; 37—muddy conglomerates; 38—tuffaceous conglomerates. Level 1 and level 2: main fossil horizons

自 2008 年以来,当地政府和有关科研单位共同对诸城盆地两个重要化石点进行了大面积挖掘,发现了迄今国内最大规模的恐龙化石埋藏地质奇观,并且化石埋藏量丰富,富集程度高。对两个恐龙化石集群埋藏地现场出露化石的初步研究确认,仅恐龙类就包括鸭嘴龙、角龙、霸王龙、甲龙、虚骨龙、秃顶龙和鸚鵡嘴龙,还包括鳄类牙齿和甲片、龟鳖类甲片等。其中恐龙化石中又主要以鸭嘴龙占绝大多数(90% 以上),包括股骨、肱骨、肋骨、胫骨和肩胛骨等,最大者数米长,小者十余厘米,更有无数的细小骨骼化石残片。

在诸城市西南 10 余千米的角龙都街道库沟发掘现场,在长 300 余米、宽 10 余米、均深 4m 的层面上,分布有近 3000 多块大小不一,错落排列的恐龙化石;毗邻之龙骨涧长 700 余米、宽 200 余米的发掘区域内也已发现了 2000 多块恐龙化石;距龙骨涧约 2 km 的臧家庄 3500m² 发掘现场,也集中出露鸭嘴龙化石 2600 多块。上述数据仅是目前初步的统计,随着挖掘进程的进一步持续还将会有更多的恐龙化石呈现。

诸城盆地呈现如此壮观的恐龙集群埋藏景观,以及赋存恐龙骨骼化石数量之丰富、分布密度之大等都值得我们进行深入的科学思考和研究。如赋存这些化石的地层层位是什么时代、什么层位? 它们与远在几百千米以外莱阳的青岛龙等在地层层位、古(埋藏、沉积)环境上有什么联系和特点? 是什么原因导致恐龙发生如此大规模的集群埋藏? 它们又为何被埋藏在此地? 它们是原地埋藏还是异地产物? 本文在前人区域地层等相关研究基础上(杨钟

健,1958;刘明渭等,1994,2003;李守军,1998;翟慎德,2003;山东省第四地质矿产勘察院,2003),重点研究了化石埋藏地的沉积岩相和沉积环境以及埋藏学特征,为后续开展更为系统的科学研究提供基础地质资料和成果。

研究区位于山东半岛东部,属于胶莱盆地南部的诸城断陷盆地,盆地内主要发育白垩纪至新生代的诸城断陷盆地,盆地内主要发育白垩纪至新生代地层(施炜等,2003;张岳桥等,2008)。白垩系由下至上为下白垩统莱阳群河流和湖相碎屑岩,青山群中、酸性火山岩与火山碎屑岩以及产于青山群之中由河湖相沉积组成的大盛群;上白垩统王氏群包括辛格庄组和红土崖组,以紫、杂色洪、冲积相沉积为主。辛格庄组顶部为滨湖湘砂岩、粉砂岩及似古土壤(灰质土)的韵律,红土崖组下部、中部为冲积扇—辫状河相砂岩、砾岩互层,顶部夹零星出露的玄武岩(山东省第四地质矿产勘察院,2003),Ar-Ar 年龄为 73.5 Ma (闫峻等,2005,2003)(图 1、图 2)。

诸城盆地恐龙化石主要产于上白垩统王氏群中、上部,即位于下部湖相砂岩、粉砂岩—似古土壤韵律与上部冲积扇—辫状河流相过渡部位(红土崖组底部和辛格庄组顶部),由下至上发育有多个化石层位,且以诸城库沟—龙骨涧与臧家庄等地化石埋藏量巨大(图 2)。

北美 Alberta 州立恐龙公园 Judith 河组也发育大量的恐龙化石, Judith 河组顶年龄为 74~75 Ma, 中部(Oldman 组下部)为 76~78 Ma (Currie et al., 2005; Lucas et al., 2000; Wood et al., 1988; Hunt, 1991; Brinkman, 1990; Eberth, 1990; Fiorillo, 1991; Varricchio, 1995; Brinkman et al.,

2004; Behrensmeyer, 1988)。因此,从地层发育特征、层位以及保存恐龙化石特征看,都与研究区有可比之处,红土崖组和辛格庄组顶部都无疑属于晚白垩世 Campanian 阶。

1 晚白垩世及恐龙化石集群埋藏地沉积相和沉积环境

通过对诸城两个大型化石挖掘现场及周边详细的剖面实测和沉积相、微相研究表明,该地晚白垩世早期主要为冲洪积环境,赋存化石的沉积序列主要由冲积扇泥石流(DF)、辫状河(河道)、洪泛平原和灰质土等微相类型组成(图 2、图 3)。

诸城库沟辛格庄组上部(图 2,诸城库沟外剖面 1~43 层)为典型洪泛平原粉砂岩—细砂岩—灰质

土(似古土壤)加积序列,局部夹扇中辫状河砾岩、粗砂岩(图 4)。灰质土是土壤中碳酸盐通过向上的地下水毛细管作用从土壤中逐渐淋滤,从而在向上的方向形成各种碳酸盐结核、豆粒、钙质土壤壳、钙质层等(图 4c 之 D)。Cleveland 曾研究了新墨西哥上侏罗统灰质土(pedocal soil)特征,并提出了一系列的鉴别标志(Cleveland et al., 2008)。

辛格庄组顶部及红土崖组下部的沉积微相与组合呈现明显特征,前期冲洪积粉砂岩—细砂岩—灰质土韵律沉积已少有发育,而代之以冲积扇泥石流、辫状河和洪泛平原粉砂泥质砾岩、砂岩加积韵律序列(图 5 至图 7)。

因此可见,研究区王氏群埋藏恐龙化石的沉积相主要是辛格庄组的洪泛平原粉砂岩—细砂岩—灰

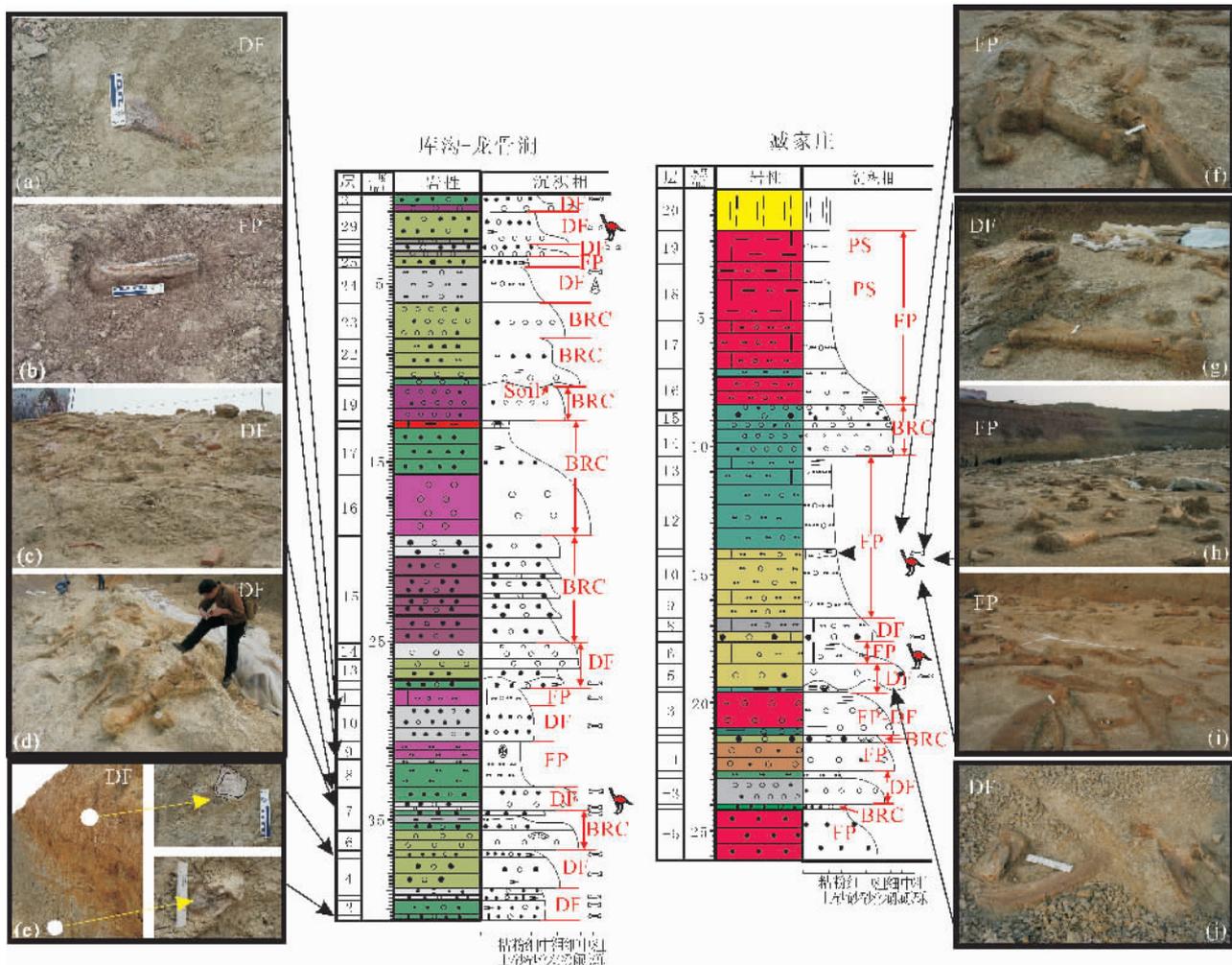


图 3 诸城臧家庄、库沟—龙骨洞恐龙化石发掘地实测剖面、沉积相和埋藏相

Fig. 3 Measured section columns, sedimentary facies and taphonomy in excavation sites

of dinosaur fossils at Zangjiazhuang and Kugou—Longgujian, Zhucheng

微相类型:DF—泥泥石流;FP—洪泛平原;BRC—辫状河道;PS—灰质土;其它图例如图 2

Microfacies; DF—mud flow; FP—flooding plain; BRC—branch channel; PS—pedocal soil; the remainder legends see Fig. 2

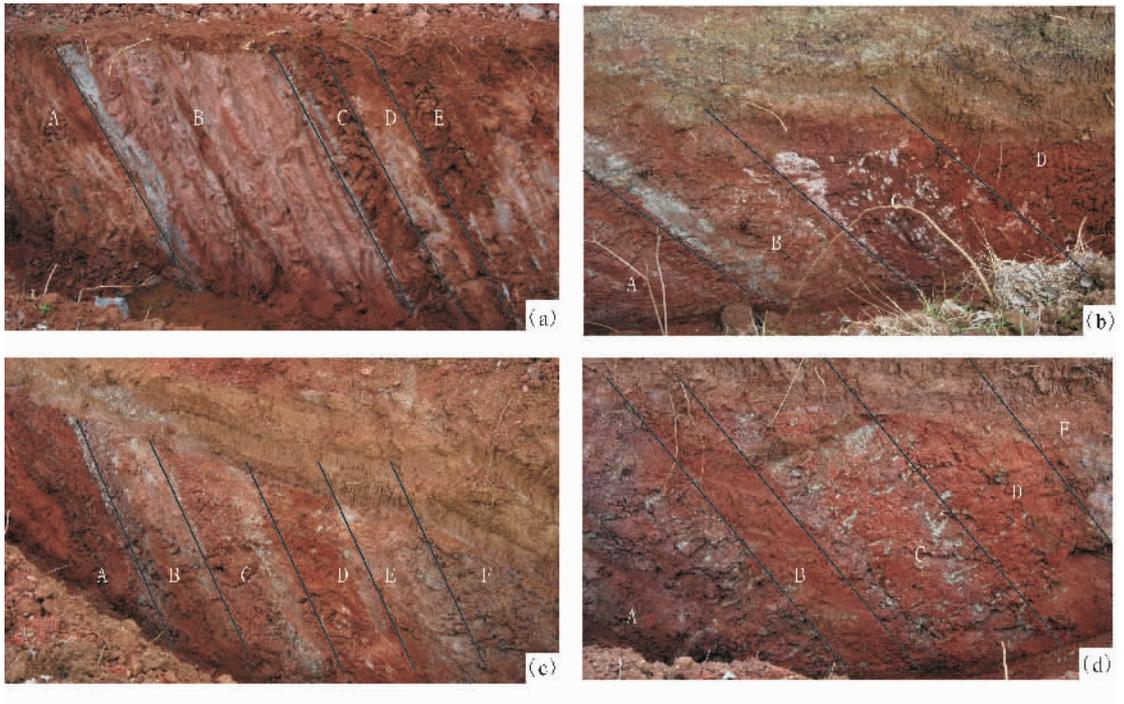


图 4 诸城库沟辛格庄组上部粉砂岩—细砂岩和灰质土韵律沉积(洪积平原相)

Fig. 4 Rhythmic deposits (flooding plain microfacies) of silts and fine grained sandstone and pedocal soil of the upper Xingezhuang Fm., Zhucheng, Eastern Shandong

(a) A, C 和 E 为灰质土(PS),发育钙质纹层;B, D 洪泛平原微相(FP)钙质粉砂岩,水平层理;(b) A—B—C—D 从洪积平原(FP)到灰质土(PS)的一个完整微相序列,B 发育灰绿色团块状、条带状还原晕,C 为灰质土(PS);(c) A 洪积平原(FP),B, C 为辫状河道砂泥质砾岩(DRC),D 为发育钙质结核的灰质土(PS),E—F 为一个向上变细的辫状河道沉积微相序列,底部为冲刷面构造(SS);(d) A—B, C—D 分别为两个 PS 微相的加积序列,A 和 C 中发育灰绿色团块状、条带状还原晕,是灰质土上部特有的沉积特征

(a) A, C, E: pedocal soil (PS) with calcareous laminations; B, D: flooding calcareous silts (FP), horizontal bedding; (b) A—B—C—D: microfacies sequence from FP to PS; B: grey green ribbons and mass reduction hal, C: pedocal soil (PS); (c) A: flooding calcareous silts (FP), B: braided channel muddy conglomerate(DRC), D: pedocal soil (PS) with calcareous nodulars; E—F: thinning—upward microfacies sequence of channel, the bottom boundary is scouring surface(SS); (d) A—B and C—D: two aggradational sequences of microfacies PS; grey green ribbons and mass reduction hal within microfacies a and c, a typical sedimentary indicator for pedocal soil (PS)

质土韵律沉积,以及红土崖组底部冲积扇、泥石流、洪泛平原和辫状河等沉积亚、微相,晚白垩世末期古地理、古沉积环境也表现着从相对湿润和温热的冲积、湖泊环境演替为燥热、干旱的冲积环境。

2 恐龙化石埋藏学特征初步研究

前已述及,诸城库沟—龙骨涧以及臧家庄两化石埋藏地冲、洪积沉积中识别出泥石流(DF)、洪泛平原(FP)、辫状河道(BRC)等几种沉积微相类型,它们就分别对应了 3 种化石埋藏相类型:T—DF、T—FP 和 T—BRC,这些埋藏相类型都与冲积扇沉积体系成因相关。

T—DF(泥石流埋藏相)(图 3a、c、g、j;图 8),是研究区主要的埋藏类型之一,以库沟、库龙骨涧以及臧家庄下化石层的埋藏特点为代表。T—DF 属于

冲积扇根部或中部的重力流沉积,为黄绿色块状构造泥砂质中、粗砾岩,磨圆中等,分选较差,砾石大小不一,多见漂浮状者,大者十几厘米,小者 1~2cm(图 5a—f)。库沟—龙骨涧高密度产出的恐龙化石(图 3c—d)大多数产于该微相内,主要为少关联性鸭嘴龙残体骨骼,如股骨、肱骨、肋骨、胫骨和肩胛骨等,包括一些圆形骨骼“砾石”飘浮状产出(图 3e;图 5e),也零星有其它脊椎类动物化石,但没有植物类化石出现。化石个体大小参差不等,大者几米长,短者几厘米,大多数顺层分布(图 8),互相间可叠盖一起(图 8b、c),同时也有孤立发育的骨骼化石(图 5b、d;图 8a)。

T—DF 埋藏相显示灰绿、黄绿色,砾岩基质以砂、泥质,钙质含量高,埋藏恐龙属种的单一以及残体骨骼大小、形状和规模不等,骨骼化石也多呈棱角

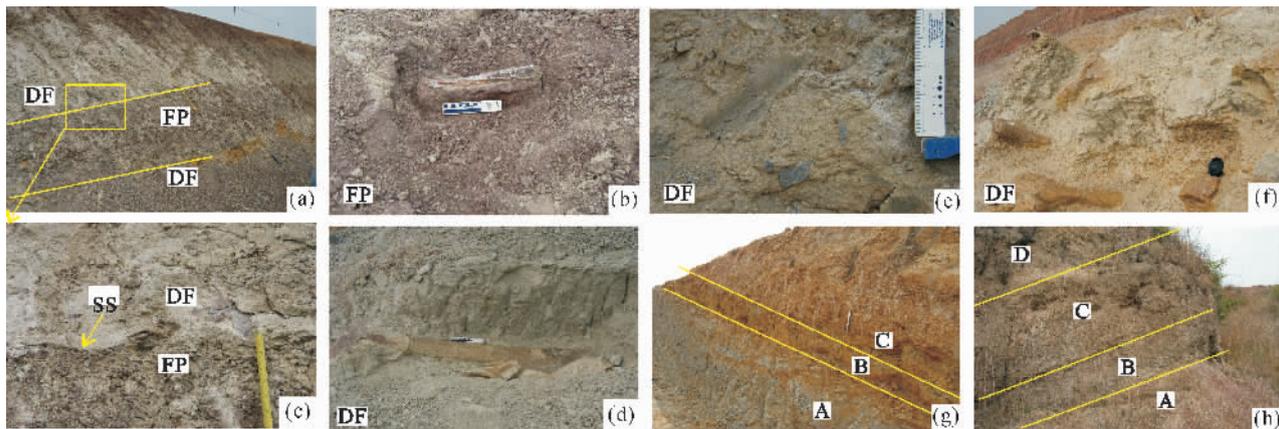


图5 诸城库沟—龙骨洞辛格庄组顶部沉积微相

Fig. 5 Sedimentary microfacies of the top Xingezhuang Fm. at Kugou—Longgujian, Zhucheng

(a) 剖面第7层(化石层)DF微相及上覆洪泛平原相(FP微相)浅紫色含粉砂泥质细砂岩,略见平行层理,其上为DF微相,产柱状脊椎化石;(b)第7层FP中发育少量孤立长柱状脊椎化石;(c)第7层顶部DF与FP之间为冲刷面构造(SS);(d)为第7层上部的DF相,产柱状脊椎化石;(e)剖面第5层灰绿色砂质砾岩(泥石流,DF),其中发育磨圆很好、外表有2~3cm钙质层的骨骼“砾石”;(f)剖面第7层(化石层)DF微相,灰绿色砂质砾岩为主,间夹透镜状辫状河道砾岩(DRC)。从左下向右上依次为DF,平行层面发育大量巨型脊椎化石,DRC砾岩透镜体,无化石,底部斜交层面具巨型化石(DF),中部孤零化石,顶部巨量化石,大小混杂,相互可叠压。化石骨骼堆积显示“下细上粗”的反粒序结构,系DF冲积扇朵叶体一次堆积的产物;(g)剖面第5~6层,A为DF和上覆反粒序结构(B—C)的冲积扇辫状河道(DRC),少见化石;(h)A为浅紫色含砾砂质粉砂岩,平行层理(FP),B是3个正韵律辫状河道黄褐色细中砾岩(DRC)加积韵律,底部(A—B之间)为冲刷面(SS)

(a) 7th bed of the section, FP, consisting of light purple silty and muddy sandstone, parallel bedding, between the underlying and overlying DF, column bone fossil presents; (b) an isolated long column bone fossil within FP; (c) a scouring surface (SS) separates DF and FP; (d) underlying and overlying DF, column bone fossil presents; (e) 5th bed of the section, grey green sandy conglomerate(DF), with silica calcareous coater in a thickness of 2~3cm and occasionally well rounded bone pebbles; (f) 7th bed of the section and main fossil horizon, grey green sandy conglomerate interbedded with lens of conglomerate(DRC), from left bottom to right top are DF, with a number of bone fossils on the surface, lenticular conglomerate of DRC, no fossil, DF, inclined giant bones on the bottom, isolated bones in the middle and a mixed bones fossils with a variety of sizes, stacked each other within the top, and bone fossils occurrence from bottom to top presents a pattern of “bigger upward”, suggesting a successive deposits of DF lobes; (g)—5th~6th beds of the section, A: DF and overlying microfacies, inverse grading structure(B—C) of alluvial fan branch channel, rare fossil; (h)A—(FP) light purple pebble sandy siltstone, parallel bedding, B—3 positive rhythmic aggradational sequence of brown fine—middle grained conglomerate of BRC, the bottom, between A and B, is scouring surface(ss)

状,表明没有经过长距离搬运,且多数顺层产出,在沉积序列中常与古土壤层共生(图4;图5a、c)等特征说明,T—DF应是干旱—半干旱大陆环境,由季节性突发强降水或其它地球表层事件引发的泥石流沉积,这种单一属种大个体脊椎动物化石高密度堆积可能反应了集群埋藏机制,或许是鸭嘴龙动物群在洪泛平原试图穿越洪泛河流或遭遇大规模滑塌、泥石流而致。

T—FP(洪泛平原)埋藏相(图3b和3f—i;图9)代表多期洪泛沉积、少量冲积扇辫状河道以及低成熟古土壤组成的含砾、含砂泥、粉砂质沉积,相当于溢岸沉积的泛滥平原、决口扇等。研究区在臧家庄上化石层最为发育(图3b和3f—i;图9)。

T—FP多数为灰紫、灰黄色、黄绿色和浅灰色等,岩石组合上多数为粉砂岩、细砂岩,含砾含砂,钙

质含量高,并常见薄层钙质层和大量钙质结核、团块,可略显平行层理或水平层理、递变层理等(图6a和图6c—e),形成于大型辫状河道间的洪泛期沉积物,序列中多夹不同规模的辫状河道砾岩、砂岩层或透镜体,也可与产腹足类的灰色泥沼相粉砂岩(图9a、图7a、图9g)或灰紫色古土壤层相伴。

臧家庄上化石层之上巨厚的洪泛平原钙质砂泥岩序列中就发育废弃的巨型辫状河道,底部为明显的冲刷面构造(图9g,箭头所示)。该地厚度不足50cm厚、3500 m²范围T—FP(洪泛平原)埋藏相中就集中出露鸭嘴龙化石2600多块。库沟灰紫色砂泥岩中有零星孤立骼化石个体。

该埋藏相多赋存一定量的泥砂质以及与T—DF埋藏相很相似的埋藏特征表明,它形成于强碎屑流扇体中、远端,主要是强水动力条件的垂向堆积

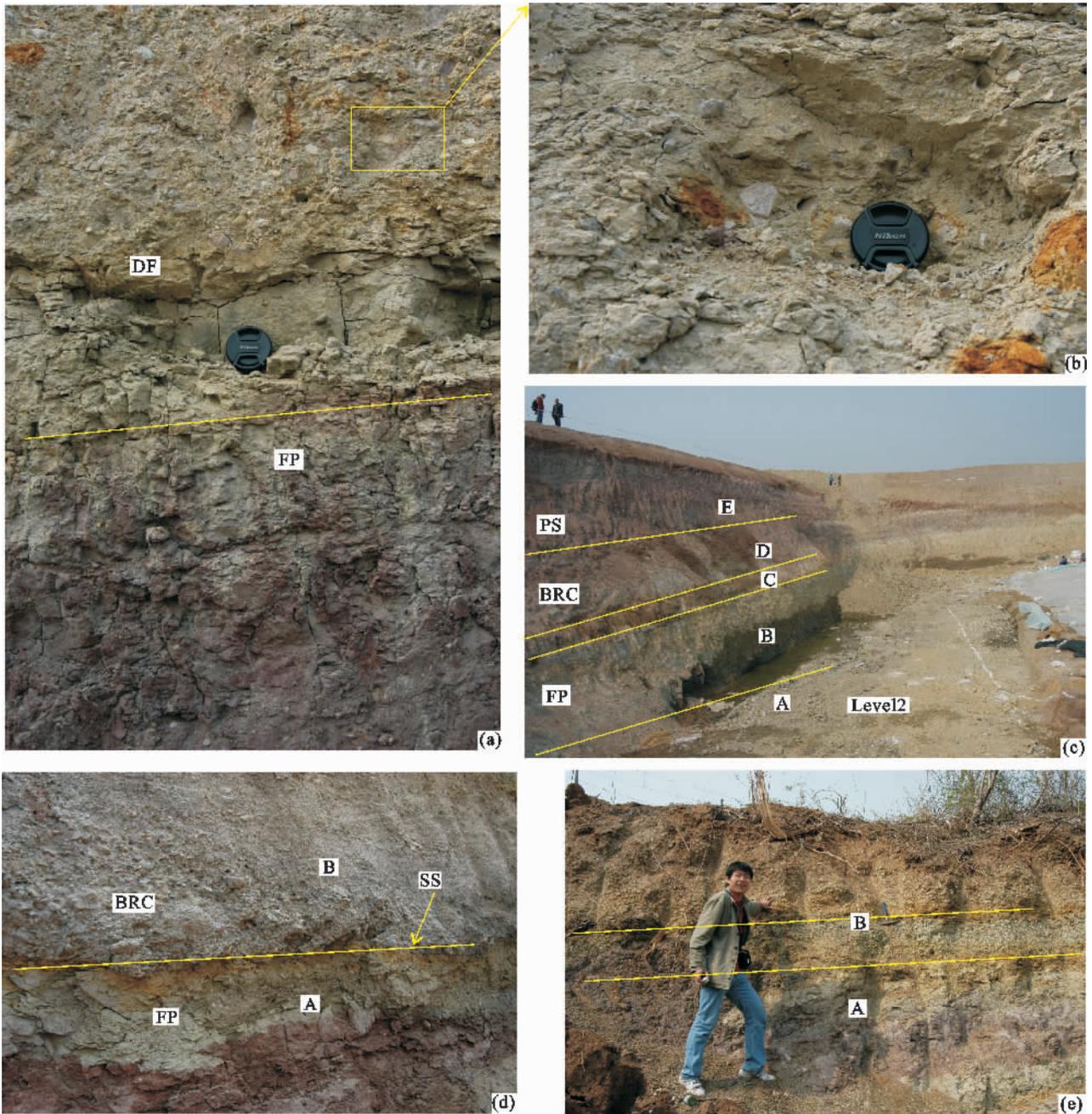


图 6 诸城臧家庄辛格庄组顶部沉积微相

Fig. 6 Sedimentary microfacies of the top Xingezhuang Fm. at Zangjiazhuang, Zhucheng

(a) FP 洪积平原相泥质含砾砂岩, DF 灰绿色含砾砂质泥岩—钙质泥砂质砾岩, 反粒序结构(顶部为 level1 化石层); (b) 为图 a 中 DF 相的局部放大; (c) DF+洪积平原辫状河道(BRC)+灰质土(PS), 底部为化石层 level2, 顶部发育 FP 相中发育大型废弃河道粗砾岩; (d) 下部(A) 洪泛平原(FP) 浅紫色砂质砾岩, 上部(B) (BRC) 灰色砂质粗砾岩; (e) 下部(A) 为洪泛平原沉积(FP), 中—上部(B) 泥石流沉积(DF)

(a) FP: flooding plain deposits, muddy and pebble sandstone; DF: grey green pebble sandy mudstone—calcareous sandy conglomerate, inverse grained structure, the top is main fossil bed (level 1 in Fig. 2); (b) enlarged picture of DF in photo (a) (indicated by frame); (c) DF(A, C)+BRC(D)+PS(E), in the top a giant coarser conglomerate of channel (E), and another main fossil bed, i. e., level 2 in Fig. 2, is located at the bottom(A); (d) FP light purple sandy conglomerate(A) in the lower, BRC grey sandy coarser grained conglomerate (B), SS—scouring surface; (e) the lower (A) is FP, the mid to top(B) is DF

物。比较明显的特征还有, 该相中产出的化石几乎接近 100% 为鸭嘴龙, 罕见其它种属的化石残体。

因此, 更有力支持了鸭嘴龙羊群式灭绝的解释。

辫状河道(T—BRC)埋藏相(图 3; 图 7c、d; 图

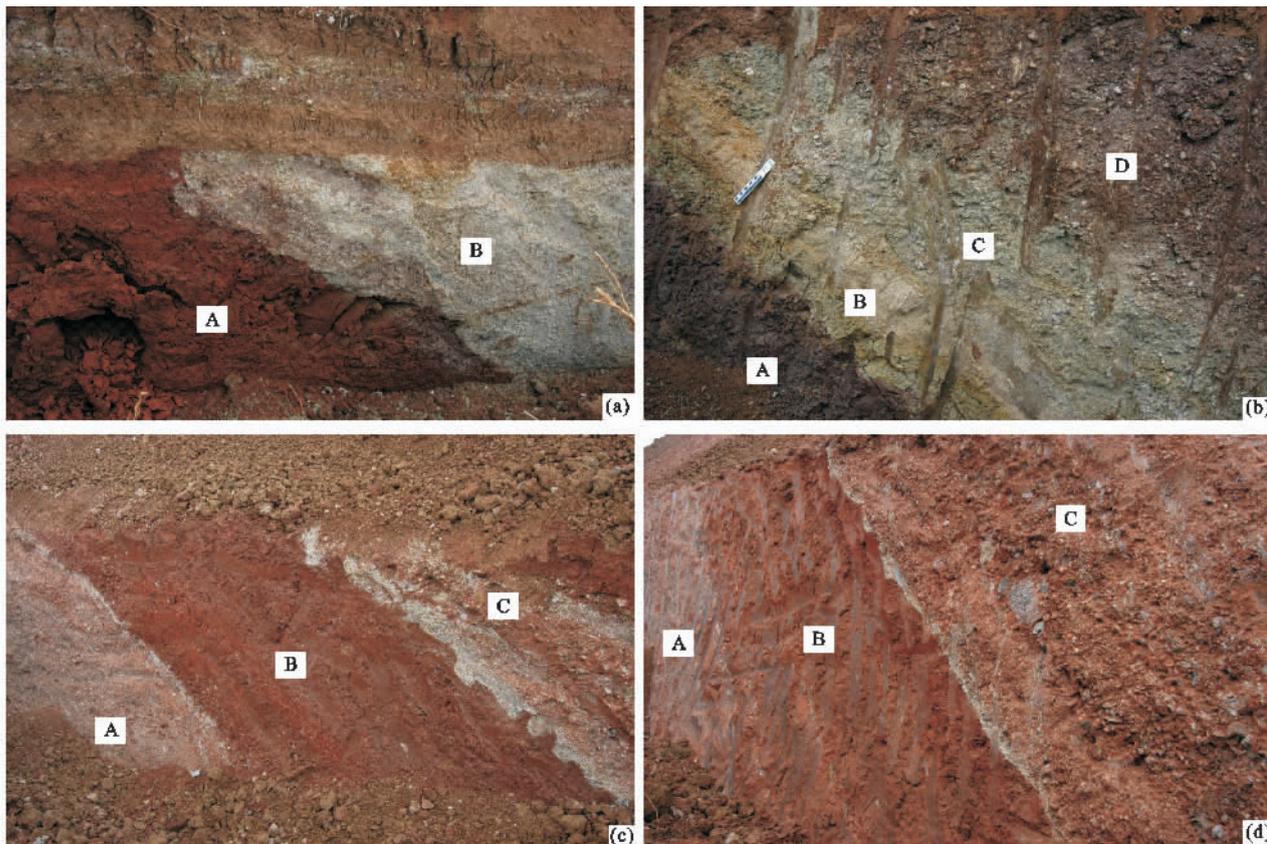


图7 诸城库沟—龙骨涧红土崖组底部沉积微相

Fig. 7 Sedimentary microfacies of the lower Hongtuya Fm. at Kugou—Longgujian, Zhucheng

(a) A 灰质土(PS), B 辫状河道砂质砾岩, 底部大型冲刷面; (b) A 灰质土(PS), B—C—D 依次为灰绿色含砾泥质砂岩—灰绿色泥砂质细砾岩—灰紫色含砂泥质钙质砾岩, 逆粒序结构, 冲积扇沉积; (c) A, C 冲积扇辫状河道, 间夹 B 砖红色含砾泥质砂岩(FP), C 底部为冲刷面(SS); (d) A, C 辫状河道砾岩(BRC), B 洪积平原(FP)

(a) A—pedocal soil (PS), B—braided channel sandy conglomerate(BRC), large scouring surface on the bottom; (b) A—pedocal soil (PS), B—C—D is grey green pebble muddy sandstone—muddy and sandy fine conglomerate—grey purple sandy, muddy and calcareous conglomerate, inverse structure, alluvial fan deposits; (c) A, C—braided channel coarse sandy conglomerate, alluvial fan deposits, interbedded with light purple pebble muddy sandstone(FP)(B); (d) A and C braided channel coarse sandy conglomerate, B muddy sandstone(FP)

7a—d)为黄褐色、黄绿色砂岩、砾岩,具有中、小型斜层理和平行层理,分选、磨圆较好,呈透镜状或薄层状产出,该埋藏相除零星的骨质“砾石”外,少有其它化石出现。T—BRC 多与 T—DF 或 T—FP 相伴出现。库沟可见一个完整的垂向埋藏相组合(图 5f; 图 8b),下部为(T—FP)浅灰色粉砂质泥岩和含砾的黄绿色中砂岩(含化石);中部(T—BRC)灰黄色砾岩,无化石;上部为(T—DF)灰绿色碎屑流,高富集度化石层(图 3d、图 5f、图 8b、c)。

前已阐释,研究区埋藏的化石主要为鸭嘴龙的骨关节、骨骼层和孤立发育的骨骼化石。上述 3 类主要埋藏学相都主要与冲积扇沉积体系及其亚相成因关系密切,而又以 T—DF 和 T—FP 两个相的化石保存最为丰富,说明泥石流堆积物和洪泛沉积既

具备短途搬运的动力条件,也同时是理想的脊椎累化石保存位置。同时,T—DF 和 T—FP 两个相都以保存和埋藏单一属种的大个体脊椎化石为特征,T—BRC 仅保存细小个体脊椎化石(砾石)。

所有上述埋藏学相都表现为埋藏单一鸭嘴龙脊椎化石,且还主要为一些无关联性的鸭嘴龙残体骨骼,零星的其它类脊椎类动物,尚未见植物出现。小个体脊椎化石点也主要与(T—BRC)斜层理砂岩相有关,是最耐磨的残余骨骼关节的正常沉积,已经为骨骼砾石的化石说明它们可能经过了几次河流搬运、沉积和在剥蚀的过程。而研究区这种以单一鸭嘴龙化石为主的集群、密集埋藏是鸭嘴龙集群埋藏事件所致,或许是动物群穿越洪泛平原时遭遇大规模山体滑坡或泥石流而致(图 10)。北美地区晚白



图 8 诸城库沟—龙骨洞鸭嘴龙化石 T-DF 埋藏相

Fig. 8 Taphonomy of T-DF at Kugou, Zhucheng

(a) 第 5 层中部(DF)中垂直层面产生的骨骼化石;(b) 第 5 层顶层面及中—下部产生的骨骼化石;(c)、(d) 第 5 顶层面的大小参差不齐,排列密集的恐龙骨骼化石,相互间可叠压
 (a) vertical occurrence of bone fossil within bed No. 5; (b) bone fossils lying on the surface and within the middle—lower bed No. 5; (c), (d)—on the surface of the bed No. 5, varied in bone size, arranged closely and stacked each other



图 9 诸城市臧家庄鸭嘴龙化石埋藏相

Fig. 9 Taphonomy of dinosaur bone fossils at Zangjiazhuang, Zhucheng

(a) T-FP,层面上以恐龙椎体化石为主,30cm 厚度内有 2 层化石,但顶部居多;(b) T-FP,细长柱状化石顺层发育;(c) T-FP,含砾粉砂岩,顶面杂乱无序分布千余件化石;(d)、(e)层面相互叠置和无序排列的骨骼化石;(f)50 cm 厚度内发育 2 层化石;(g) T-FP 相化石层之上大型辫状河道,底为显著冲刷面,下为钙质大量钙质层和结核的泛滥平原泥粉砂岩;(h) T-FP 中局部发育的 T-DF,由砂泥质砾岩组成,发育长柱状化石,顺层分布
 (a) T-FP, chiefly vertebrate bone fossil, two layers of bone within 30 cm thickness, mainly on the surface; (b) T-FP, thin—long column bone, parallelling with the sedimentary laminations; (c) T-FP, pebble siltstone, more than 1000 bone fossils on the surface, stochastic arranged; (d), (e) disordered distribution and stacked of bones on the surface; (f) two layers of bone within 50 cm thickness; (g) a giant channel sandstone within purple siltstone with calcareous nodulars, layers of T-FP, bottom boundary is scuring surface; (h) T-DF, mainly muddy conglomerate, interbedded with T-FP, long column bones, parallelling with the sedimentary laminations

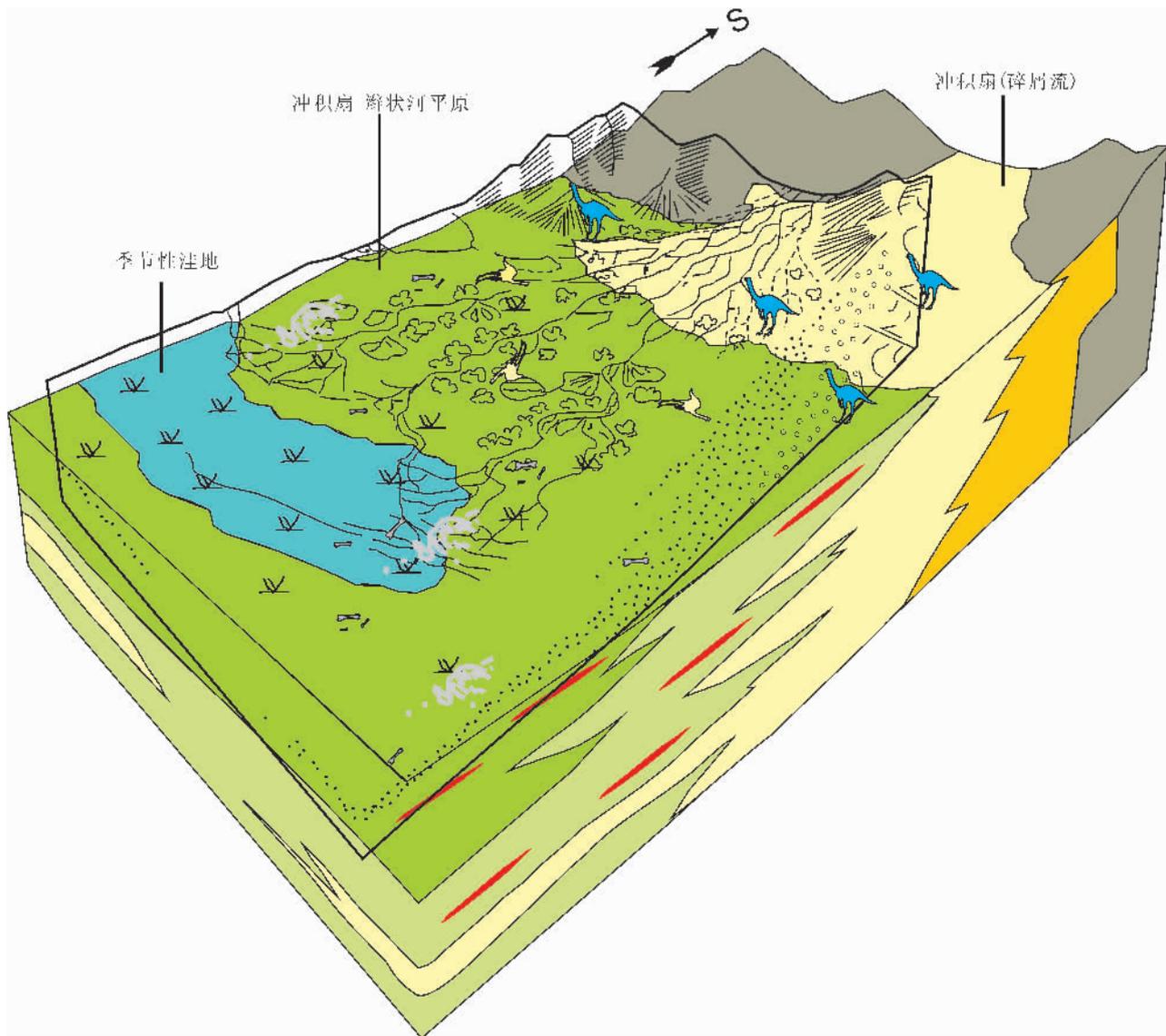


图 10 诸城地区晚白垩世恐龙集群埋藏的古沉积环境模型

Fig. 10 A proposed model of sedimentary setting for taphonomy of the mass dinosaur death in Late Cretaceous, Zhucheng

白垩世恐龙的灭绝、埋藏也可能部分与此成因有关 (Currie et al., 2005; Eberth, 1990; Fiorillo, 1991; Varricchio, 1995; Brinkman et al., 2004; Behrensmeyer, 1988)。

3 结论

(1) 研究区白垩系由下向上包括林家庄组、辛格庄组和红土崖组。上白垩统辛格庄组为杂色细碎屑冲积岩系,红土崖组为砖红色砂岩、砾岩互层沉积,中—上部发育玄武岩,Ar-Ar 年龄 73.5 Ma。红土崖组底部和辛格庄组顶部过渡部位为鸭嘴龙化石集群埋藏层位,与区域上莱阳地区产青岛龙及恐

蛋等化石的层位相当。

(2) 辛格庄组上部为洪泛平原粉砂岩—细砂岩—灰质土(似古土壤)加积沉积序列,局部夹扇中辫状河砾岩、粗砂岩,红土崖组下部与下伏辛格庄组顶部过渡部位是冲积扇碎屑流、辫状河和洪泛平原粉砂泥质砾岩、砂岩加积沉积序列。

(3) 与冲积扇沉积体系相关的 3 种埋藏相类型,冲积扇泥石流(T-DF)、洪泛平原(T-FP)和辫状河河道(砂砾岩 T-BRC)。T-DF 和 T-FP 是研究区主要埋藏相类型,赋存化石主要为无关联单一鸭嘴龙残体骨骼,个体大小参差不齐,顺层分布,互相间可叠盖一起,同时也有孤立发育的骨骼化石。

(4)高密度、单一种类恐龙残体骨骼化石集群、高密集埋藏的特征可能反应了恐龙集群埋藏事件,或许是恐龙动物群迁徙穿越洪泛平原时,遭遇大规模山体滑坡或泥石流等突发事件所致。

致谢:感谢诸城市旅游局领导及各处室领导、同事在野外工作期间给予的大力支持和帮助。

参 考 文 献 / References

胡承志,程政武,庞其清,方晓思. 2001. 巨型山东龙. 北京:地质出版社, 1~139.

李守军. 1998. 山东侏罗白垩纪地层划分与对比. 石油大学学报(自然科学版), 22(1): 1~4.

刘明渭,张庆玉,宋万千. 2003. 山东省白垩纪岩石地层序列与火山岩系地层划分. 地层学杂志, 27(3): 247~253.

邱松生,王德滋,罗清华,刘洪. 2001. 鲁东胶莱盆地青山组火山岩⁴⁰Ar-³⁹Ar定年——以五莲分岭火山机构为例. 高校地质学报, 7(3): 351~355.

山东省第四地质矿产勘查院. 2003. 山东省区域地质志. 济南:山东省地图出版社, 1~970.

施炜,张岳桥,董树文,武丽,杜利林. 2003. 山东胶莱盆地构造变形及形成演化——以王氏群和大盛群变形分析为例. 地质通报, 22(5): 325~334.

同峻,陈江峰,谢智,高天山. Fland K A,张希道,刘明伟. 2005. 鲁东白垩世玄武岩及其中幔源包体的岩石学和地球化学研究. 岩石学报, 21(1): 99~112.

同峻,陈江峰,谢智,周泰禧. 2003. 鲁东晚白垩世玄武岩中的幔源捕虏体:对中国东部岩石圈减薄时间制约的新证据. 科学通报, 48(14): 1570~1574.

杨钟健. 1958. 中国古生物志(142册),新丙种(16号). 北京:科学出版社, 1~138.

翟慎德. 2003. 胶莱盆地莱阳凹陷构造特征及演化. 石油实验地质, 25(2): 137~142.

张岳桥,李金良,张田,董树文,袁嘉音. 2008. 胶莱盆地及其邻区白垩纪—古新世沉积构造演化历史及其区域动力学意义. 地质学报, 82(9): 1229~1257.

张增奇,刘明渭. 1996. 山东省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社, 1~328.

赵喜进,李敦景,韩岗,赵华锡,刘风光,李来进,方晓思. 2007. 山东的巨大诸城龙. 地球学报, 28(2): 111~122.

Adrian P H. 1991. Integrated vertebrate, invertebrate and plant taphonomy of the Fossil Forest area (Fruitland and Kirtland formations; Late Cretaceous), San Juan County, New Mexico,

USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 88: 85~107.

Anna K B. 1988. Vertebrate preservation in fluvial channels. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 63: 183~199.

Anthony R F. 1991. Taphonomy and depositional setting of Careless Creek Quarry (Judith River Formation), Wheatland County, Montana, U. S. A. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 81: 281~311.

Brinkman D B, Russell A P, Eberth D A, Peng Jianghua. 2004. Vertebrate palaeocommunities of the lower Judith River Group (Campanian) of southeastern Alberta, Canada, as interpreted from vertebrate microfossil assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 213: 295~313.

Brinkman D B. 1990. Paleoecology of the Judith River Formation (Campanian) of Dinosaur Provincial Park, Alberta, Canada: Evidence from vertebrate microfossil localities. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 78: 37~54.

David J V. 1995. Taphonomy of Jack's Birthday Site, a diverse dinosaur bonebed from the Upper Cretaceous two medicine Formation of Montana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 114: 297~323.

David M C, Lee C N, Stacy C A. 2008. Paleosols, trace fossils, and precipitation estimates of the uppermost Triassic strata in northern New Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 257: 421~444.

Eberth D A. 1990. Stratigraphy and sedimentology of vertebrate microfossil sites in the uppermost Judith River Formation (Campanian), Dinosaur Provincial Park, Alberta, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 78: 1~36.

James M. Wood, Richard G. Thomas, John Visser V. 1988. Fluvial processes and vertebrate taphonomy: the Upper Cretaceous Judith River Formation, South—central dinosaur Provincial Park, Alberta, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 66: 127~143.

Lucas S G, Heckert A B. 2000. Dinosaurs of New Mexico: an overview. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 17: 1~4.

Philip J, Currie C, Koppelhus E, Koppelhus B. 2005. Dinosaur Provincial Park—A Spectacular Ancient Ecosystem Revealed. Indiana University Press, 1~648.

Sedimentary Facies and Taphonomy of Late Cretaceous Deaths of Dinosaur, Zhucheng, Eastern Shandong

LIU Yongqing¹⁾, KUANG Hongwei¹⁾, PENG Nan¹⁾, JI Shu'an¹⁾, WANG Xuri¹⁾,
CHEN Shuqing²⁾, ZHANG Yanxia²⁾, XU Huan²⁾

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *Zhucheng Tourism Administration, Zhucheng, Shandong, 262200*

Abstract: The Upper Cretaceous composed of, in ascender order, Linjiazhuang Formation, Xingezhuang Formation and Hongtuya Formation, is developed in Zhucheng basin, eastern Shandong Province. The Xingezhuang Formation is consisted of purple fine grained clastic rocks. The rhythmic deposits of dark purple sandstone and conglomerate make up the Hongtuya Formation, in which a 73.5Ma age was attained by Ar-Ar from basalt in the upper horizon. Lots of bone fossils of dinosaur were found within the transition from the top Xingezhuang Formation to the lower Hongtuya Formation, which is correlated with the horizon in which *Tsintaosaurus* and egg fossils were found in Laiyang, 200 km to the south.

Based upon detailed studies on lithofacies and sedimentology, a fluvial fan and braided—channel depositional model has been developed for the Late Cretaceous depositions in Zhucheng, eastern Shandong. Using this model, major taphonomic modes of occurrence of vertebrate remains found within the study sequences are readily explicable in terms of the sedimentary context of their host lithofacies. The sequences studied are composed of three main sedimentary facies and corresponding taphonomic lithofacies: (1) mud flow deposits: sandy and muddy conglomerate (T—DF); (2) floodplain deposits including immature paleosols, shalestone and mud with interclations of the braided pebblestone (T—FP); (3) sandy and muddy conglomerate with inclined bedding (T—BRC); Within the detailed study areas vertebrate fossils occur as articulated skeletons, bonebeds and isolated skeletal elements. All of these three major taphonomic occurrence modes are dominantly associated with mud flow and floodplain deposits indicating preferential preservation of vertebrate material at these microfacies. These three taphonomic occurrences are believed to represent the end products of mass deaths of herding ceratopsians of dinosaur, perhaps by drowning as animals attempted to cross flooded rivers.

Key words: Shandong, Zhucheng; Late Cretaceous; Dinosauru fossil; sedimentary facies; taphonomy