

安徽齐云山晚白垩世兽脚类恐龙足迹点沉积环境

何情¹, 邢立达², 王晓丽¹, 潘正华¹, 胡毅³, 路硕⁴

HE Qing¹, XING Lida², WANG Xiaoli¹, PAN Zhenghua¹, HU Yi³, LU Shuo⁴

1. 安徽大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230601;

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 安徽齐云山风景区管委会, 安徽黄山 245451;

4. 安徽省地震局, 安徽合肥 230031

1. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601, Anhui, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Qiyun Mountain Administrative Committee, Huangshan 245451, Anhui, China;

4. Anhui Earthquake Administration, Hefei 230031, Anhui, China

摘要:安徽齐云山兽脚类足迹群是目前中国晚白垩世保存最好的恐龙足迹群之一,对其沉积环境的研究为恢复白垩纪末期恐龙动物群的生活环境提供了证据。研究区足迹全部为兽脚类凸型足迹,与无脊椎动物遗迹 *Palaeophycus tubularis* 和 *Scoyenia* sp. 保存在一起,指示陆相沉积中的浅水沉积。通过薄片鉴定,足迹层位主要为岩屑砂岩,其平均粒径、标准偏差、偏度和峰度4个粒度参数特征与典型的河相砂一致;粒度分布直方图、概率累积曲线图及散点图表明,足迹层位从下到上颗粒逐渐变细,水动力条件变弱,沉积环境由河床沉积转变为边滩沉积。综上,齐云山兽脚类足迹点沉积环境为大型曲流河沉积,足迹保存在边滩沉积的下部,是白垩纪末期干旱气候条件下兽脚类恐龙动物群的水源地。

关键词:沉积环境;晚白垩世;兽脚类足迹点;安徽齐云山

中图分类号:P534.53;Q915.2² **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)09-1506-08

He Q, Xing L D, Wang X L, Pan Z H, Hu Y, Lu S. Sedimentary environment of Late Cretaceous theropod tracksite in Qiyun Mountain, Anhui Province. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(9):1506-1513

Abstract: Qiyun Mountain theropod tracks from Anhui Province seem to be the best preserved tracks in several kinds of Late Cretaceous tracks. The study of their sedimentary environment provides evidence for restoring the habitats of dinosaur fauna. All of the tracks are natural theropod casts, preserving *Palaeophycus tubularis* and *Scoyenia* sp., which indicates a shallow water in continental deposits. The thin section analysis reveals that the footprint layers are dominated by lithic sandstones. The four grain characteristic parameters consisting of average size, standard deviation, skewness and kurtosis for the sandstones are consistent with features of the typical fluvial deposits. Grain size distribution histogram, probability cumulative curves and scatter plots of footprint layers present the smaller particles and weaker hydrodynamic conditions upwards. The sedimentary environment displays the transformation from river-beddeposits to point bar deposits. Therefore, the sedimentary environment of Qiyun Mountain theropod tracksite was large meandering river deposition. Tracks were preserved in the lower part of point bar deposits which was the water source of the theropod fauna under the Late Cretaceous dry climate conditions.

Key words: sedimentary environment; Late Cretaceous; theropod tracksite; Qiyun Mountain, Anhui

收稿日期:2017-02-15;修订日期:2017-08-15

资助项目:安徽省自然科学基金项目《安徽齐云山晚白垩世恐龙蛋化石特征及古环境分析》(编号:1708085QD86)和安徽大学博士科研启动经费项目《安徽齐云山恐龙足迹点古环境分析》(编号:J10113190092)

作者简介:何情(1987-),女,博士,讲师,从事遗迹化石研究及地质遗迹调查工作。E-mail: heqingzjb@163.com

目前为止,国内一些大的恐龙足迹点如辽宁羊山、内蒙古查布、甘肃永靖及重庆綦江地区,均保存在晚侏罗世或早白垩世地层中^[1-4],而晚白垩世的恐龙足迹点十分稀少,其中保存较好的仅有安徽省齐云山小壶天足迹点^[5-7]、广东南雄足迹点^[8]和四川瓦地足迹点^[9],而齐云山是保存最好的兽脚类足迹点(图1)。余心起^[10]首次报道了安徽齐云山小壶天恐龙足迹,并做了简单的描述。Xing等^[7]重新研究了这些兽脚类足迹,并对足迹化石做了详细的属种鉴定和形态分类。由于齐云山足迹点宏观沉积构造缺乏,本文对足迹赋存层位砂岩进行了显微结构观察和粒度分析实验,进一步研究其沉积环境,为恢复研究区白垩纪—古近纪(K—T)之交恐龙动物群的生活环境提供证据。

1 地质背景

在大地构造位置上,齐云山处于晋宁期碰撞混杂岩带的中生代拉伸盆地,是休宁盆地的一部分。中生代受燕山运动影响形成齐云山断陷盆地^①。新生代以来受新构造运动的影响,齐云山盆地白垩系

的红色砾岩垂直节理发育,差异风化明显,并在流水溶蚀、风力侵蚀、重力崩塌等综合作用下形成壮观的丹霞地貌^[11-12]。齐云山小壶天恐龙足迹主要保存在上白垩统小岩组中,小岩组不整合于齐云山组和徽州组之上,由3个从砾岩到砂岩的较大的旋回组成,每个旋回由多个从砾岩、含砾砂岩到岩屑砂岩及钙质砂岩的韵律组合而成,为典型的河流—湖泊环境,部分属于滨湖沉积,未见深湖相沉积^[6,13]。小壶天恐龙足迹点位于小岩组第一大旋回顶部钙质砂岩上。由于崖壁陡峭,实测足迹赋存剖面岩层厚2.88m,自下而上共包括9层:足迹层位下部1~5层,厚1.92m,对应岩石样品编号为R001~R009;足迹层位第6层,厚0.25m,对应岩石样品编号为R010~R013;足迹层位上部7~9层,厚0.71m,对应岩石样品编号为R014~R018(图2)。

2 岩石结构标志

岩石结构标志是沉积环境的判别标志之一,碎屑岩的结构包括碎屑颗粒的特点、填隙物特征及两者之间的关系^[14]。根据小岩组18块沉积岩样品的

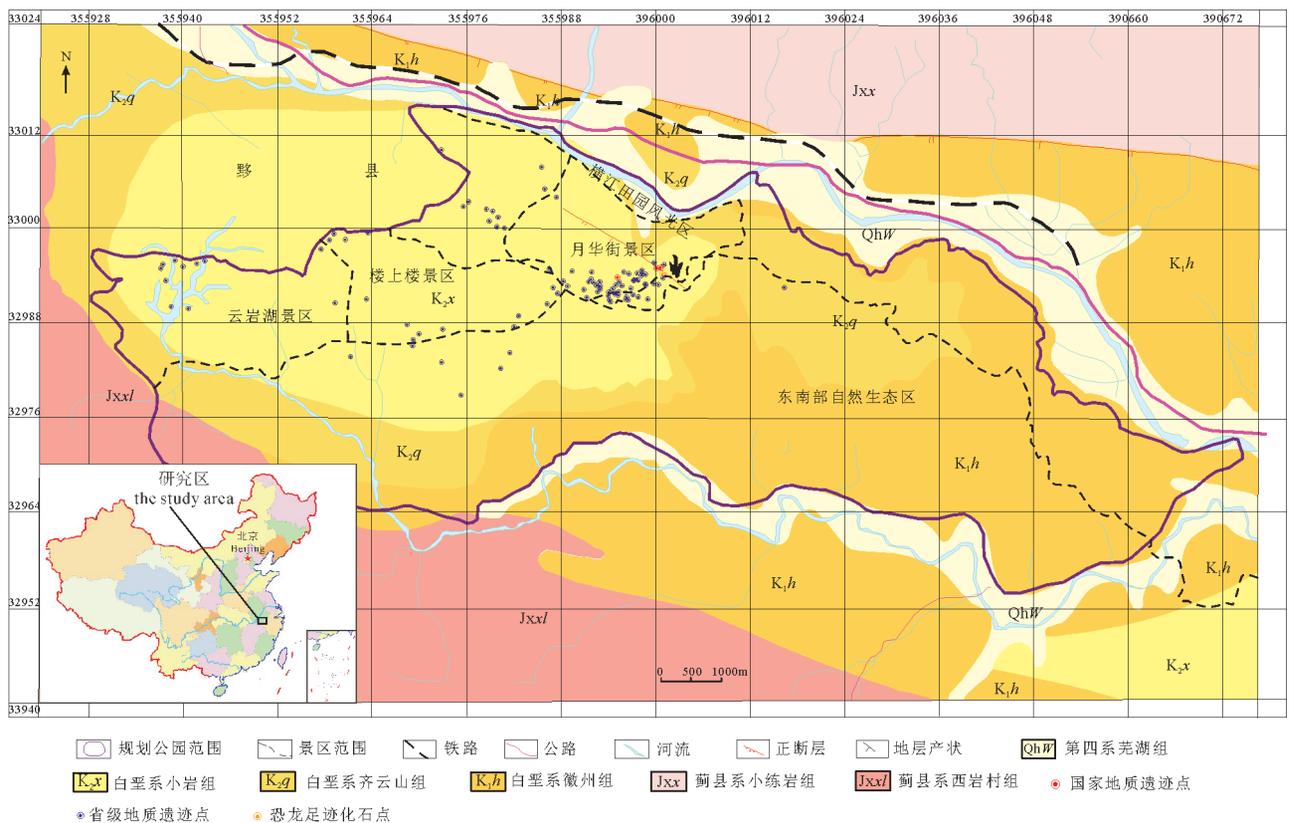


图1 安徽齐云山恐龙足迹化石产地

Fig. 1 The location of dinosaur tracksite in Qiyun Mountain area, Anhui Province

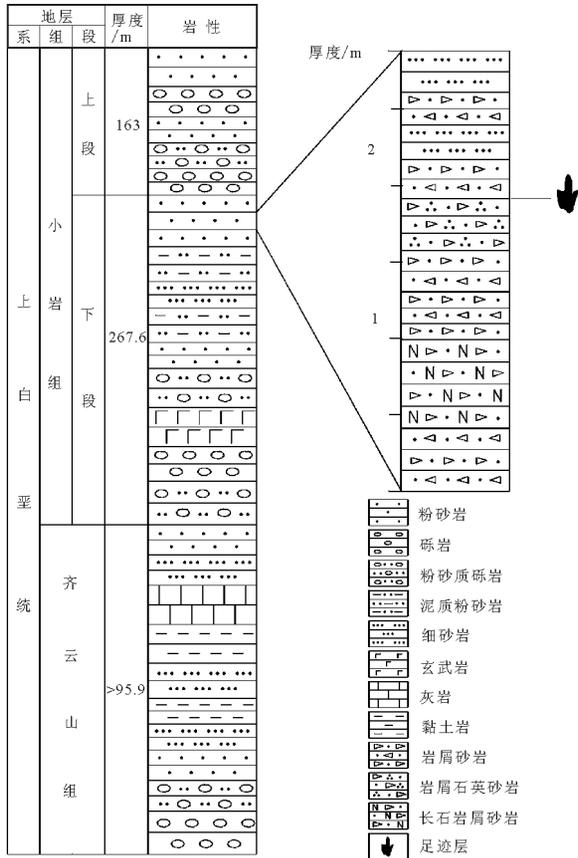


图2 齐云山小壶天组上部恐龙足迹层位实测柱状图
 Fig. 2 Stratigraphic columnar section of the upper member of the Xiaoyan Formation from dinosaur footprint layer in Qiyun Mountain area

野外观察和室内薄片鉴定结果,足迹赋存层位的岩性主要为岩屑砂岩、岩屑石英砂岩和细砂岩。岩石主要由陆源碎屑、砂级内碎屑和填隙物组成,砂状结构,块状构造和层状构造,陆源碎屑主要组成为长石、石英和岩屑。其中,长石为斜长石及钾长石,相对含量为1%~5%,石英相对含量为65%~80%,岩屑主要为硅质岩、粉砂岩、含粘土粉砂岩等,相对含量为10%~30%。碎屑组分大小以中粒为主(0.25~0.5mm),磨圆为次棱角状-次圆状,填隙物主要为钙质胶结物、铁质胶结物、硅质胶结物和粘土杂基,钙质胶结物为方解石,相对含量5%~15%,铁质胶结物较少,硅质胶结物极少,粘土相对含量1%~2%。

以上足迹层位砂岩的类型和结构表明,砂岩类型比较复杂,主要为岩屑砂岩(图3),其次为岩屑石英砂岩和细砂岩,组分中稳定矿物(石英)含量较

高,成分成熟程度较高;而陆源碎屑组分以中砂为主,颗粒较粗,石英和长石呈次棱角状-次圆状,磨圆度一般,粘土杂基含量较少,结构成熟度一般。因此,小岩组足迹层位岩屑砂岩成分成熟度和结构成熟度一般-较高,表明当时沉积环境的水动力强度总体较强,碎屑物质搬运距离较远,被外力充分改造,在离物源区较远的场所发生沉积。

值得一提的是,足迹层位4个样品的钙质胶结物含量可达5%~15%,而下伏地层9个样品的钙质胶结物含量很少甚至没有,说明保存足迹的岩层比下伏岩层硬,产生了严重的差异风化,因此,小壶天所有兽脚类足迹均为凸型足迹,并保存在上覆岩层的底面上。但由于差异风化的局限性,目前所发现的兽脚类足迹有限。

3 恐龙和无脊椎动物遗迹化石特征

齐云山小壶天恐龙足迹一共有55个,三趾型,全部为原地保存较好的兽脚类足迹模铸化石(图4-A)。根据足迹形态分为3种类型:A、B和C,其中主要为A类足迹,足迹小到中等,长13~24cm,Ⅱ-Ⅳ趾间角为56°,爪痕较深;B类足迹由中等大小的三趾型足迹组成,长18~21cm,Ⅲ趾最长,中趾前凸中等到较强;C类足迹大小中等,长约16cm,中趾前凸较弱。Xing等^[7]认为,这些足迹归属于一个新的遗迹种 *Paracorpulentapus zhangsanfengi*。除单个足迹外,还包括2条兽脚类行迹和1条尾迹,其中最完整的1条行迹由2个足迹组成,单步长60.5cm,大约是足迹长度的3倍。在这2个足迹之间还可以清楚地看到1条恐龙尾迹,尾迹长50cm,宽3~4cm,细端指向北西310°(图4-B)。

与恐龙足迹和尾迹保存在一起的还有无脊椎动物的遗迹化石,主要包括2种类型,第一种类型的遗迹化石保存在兽脚类足迹的第Ⅲ趾之上,为伸直稍有弯曲的圆柱形潜穴,与层面平行,不分枝,外表无纹饰,内部充填有回填沉积物,充填物的颜色、成分与母岩相同,近趾端部分被风化无法测得潜穴长度,宽约10mm,整体保存为底生迹,经鉴定为管状古藻迹 *Palaeophycus tubularis*^[15](图4-C);第二种类型的遗迹化石不仅与兽脚类足迹保存在一起,还与 *Palaeophycus tubularis* 交叉出现,为直或弯曲的细长潜穴,互相交叉但不分枝,柱形或亚柱形,潜穴直径2~4mm,长5~12mm,潜穴内充填有回填构造,与围

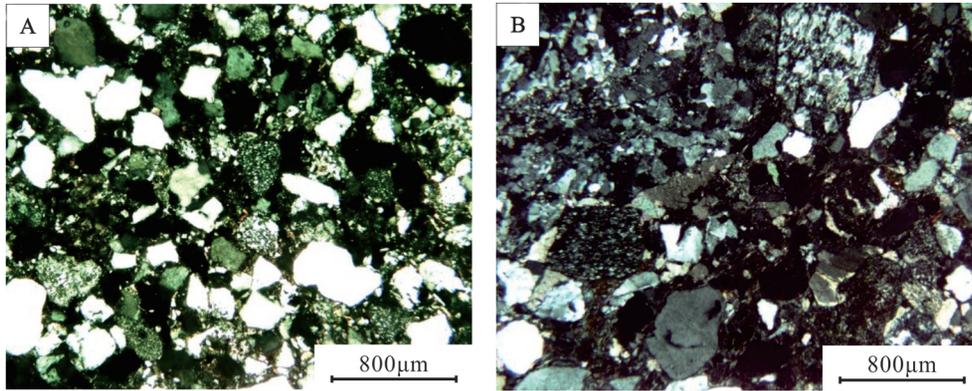


图3 砂岩显微结构示意图

Fig. 3 Microstructure of sandstone

A—细中粒岩屑砂岩;B—含砾中粗粒岩屑砂岩

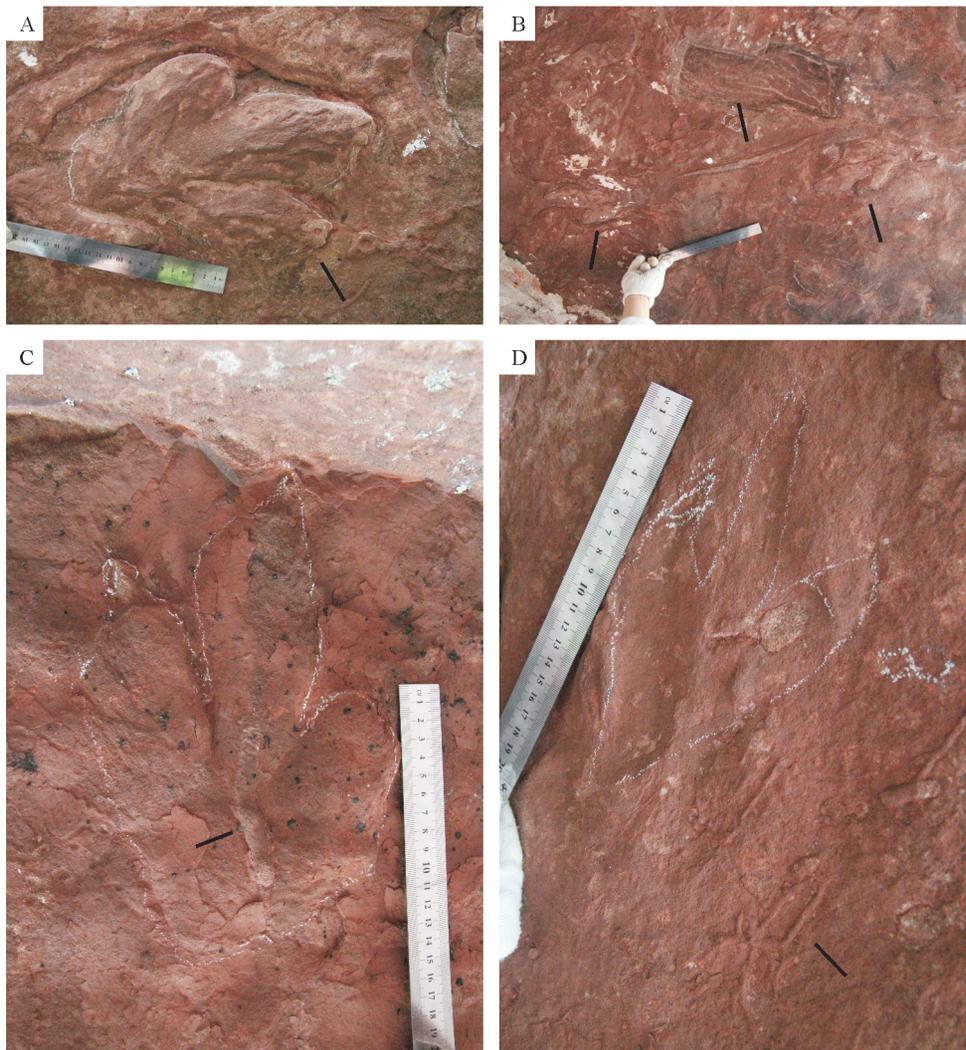


图4 遗迹化石示意图

Fig. 4 Ichnofossils schematic diagrams

A—恐龙足迹;B—恐龙行迹和尾迹;C—管状古藻迹;D—斯柯茵迹

岩成分一致,外表纹饰不显著,暂定为 *Scoyenia* sp.^[16] (图4-D),属于典型的非海相红层遗迹相^[17]。

4 砂岩粒度分布特征

4.1 粒度参数特征及意义

碎屑岩的粒度分布和分选性是沉积介质能量的衡量标准,也是判别沉积环境和水动力条件的良好标志^[18]。为了进一步分析足迹点的沉积环境,利用薄片显微镜粒度分析法得出了足迹层位大量的粒度数据。目前,粒度参数计算和粒度参数相关图件绘制是碎屑岩粒度分析最直接、最常用的方法。常用的粒度参数包括平均粒径、标准偏差、偏度和峰度。根据齐云山小壶天足迹点小岩组砂岩的原始粒度数据,计算的所有样品粒度参数如表1所示。

根据表1,研究区所有样品的平均粒径介于0.88~3.56 Φ 之间,说明颗粒从粗到细都有,主要为中细砂,足迹层位下 Φ 值(R001~R009)与足迹层位上 Φ 值(R014~R018)相比较小,说明层位由下往上,颗粒由粗变细,具有河流相粒径分布特征;标准偏差介于0.38~1.70之间,整体分选性较差或中等,与河流相砂岩的标准偏差范围值(0.5~1.4)基本一

致^[19];偏度在-0.29~0.31之间,变化大,以正偏为主,说明频率曲线峰偏向粗颗粒一侧,沉积物以粗组分为主,偏度也有负值,说明也包含有细颗粒,与典型的河砂特征一致^[18];峰度介于0.97~2.22之间,平均值为1.31,说明峰态较窄,表明沉积物进入新环境之前被改造的程度或新环境对其的改造程度较高,总体反映水动力较强^[20]。

4.2 直方图与概率累积曲线特征及意义

粒度分布直方图和概率累积曲线图是分析砂岩粒度分布特征最直观的方法。由于样品总数过多,受篇幅限制,根据恐龙足迹赋存位置,自下而上选取3块砂岩样品(样品编号:R002、R011、R016)进行沉积粒度特征的解释和说明(图5)。

根据3个样品的粒径分布直方图,R002样品直方图具有明显的不对称三峰现象,主要包括砾石、粗砂、中砂和细砂,对应的百分含量分别为13.14%、38.23%、31.56%、15.07%;R011样品直方图为不对称单峰,砂的类型主要为粗砂、中砂、细砂和粉砂,对应的百分含量分别为8.67%、69.04%、18.65%、1.64%;R016样品的直方图也为不对称单峰,主要包括粗砂、中砂、细砂和粉砂,对应的百分含量分别为8.34%、34.95%、47.90%、7.81%。从以上粒径直方图可以看出,小岩组砂岩整体以中砂和细砂为主,其次为粗砂,且有一定含量的砾石和粉砂,反映水动力条件整体较强,足迹层位下部砾石的出现到上部粉砂含量的增加,以及众数从下往上由粗砂过渡到中砂再到细砂,均说明砂岩粒径在逐渐变细,水动力强度随之变弱。

从概率累积曲线看,R002样品为典型的四段式,包括2个滚动总体、跳跃总体和悬浮总体,粗截点0.2 Φ ,细截点3.0 Φ ,概率曲线以跳跃总体为主,与河床粗砂岩沉积物特征一致;R011样品为三段式,包括滚动总体、跳跃总体和悬浮总体,粗截点1.1 Φ 左右,细截点约2.3 Φ ,以跳跃总体为主,含量为86%左右,斜率60°,分选性较好;其次是滚动总体,含量约10%,斜率41°,分选性中等;悬浮总体含量较低,2%左右,斜率13°,分选性很差,与边滩下部中粗粒砂岩沉积物特征一致;R016样品为“低斜跳跃-悬浮”两段式,截点在2.7 Φ 左右,以跳跃总体为主,含量为70%左右,斜率小于45°,分选性较差,悬浮总体含量为30%左右,与边滩上部中细粒砂岩沉积物特征一致。以上分析表明,从下往上3个足

表1 砂岩样品粒度参数统计

Table1 Statistics of the grain characteristic parameters for the sandstones

样品编号	平均粒径(M_z)	标准偏差(σ)	偏度(SK)	峰度(KG)
R001	1.02	1.70	-0.29	1.60
R002	0.88	1.41	-0.14	1.32
R003	2.39	1.07	0.15	1.46
R004	1.82	1.22	0.05	1.13
R005	2.33	0.81	0.14	1.44
R006	2.42	0.60	0.02	0.98
R007	1.63	0.75	0.16	1.38
R008	2.75	1.24	0.31	1.58
R009	2.47	0.75	0.12	1.23
R010	1.70	0.56	0.07	1.22
R011	1.58	0.70	0.14	1.57
R012	1.57	0.38	-0.01	1.01
R013	1.80	0.56	0.25	2.22
R014	3.48	1.33	-0.15	0.98
R015	2.53	1.18	0.26	1.13
R016	2.29	1.10	0.21	1.36
R017	3.56	1.35	-0.12	0.97
R018	3.18	1.01	0.27	1.00
平均值	2.19	0.98	0.08	1.31

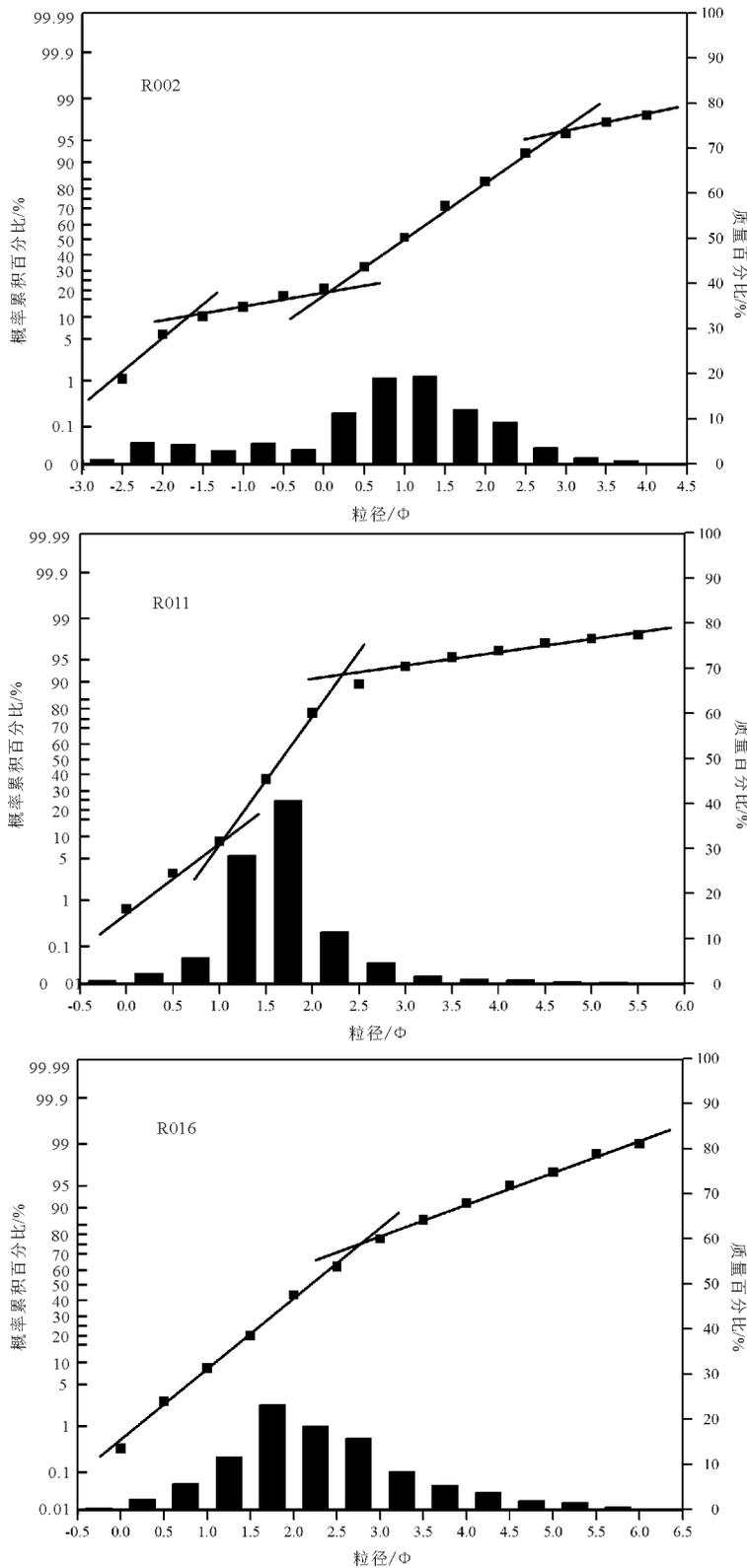


图 5 样品粒度概率累积曲线

Fig. 5 Grain size probability cumulative curves of the sample

迹层位砂岩样品的概率累积曲线由四段式变化为三段式再到两段式;从滚动总体、跳跃总体和悬浮总体发育齐全到只发育跳跃总体和悬浮总体,说明自下而上,沉积环境由河道沉积下部的河床沉积转变为上部的边滩沉积,沉积颗粒由粗到细,水动力条件由强到弱,分选性变差。

4.3 结构参数散点图特征

结构参数散点图是分析 4 种粒度参数的一种图解,其中平均值对标准差的散点图及偏度对标准差的散点图可以反映沉积相和沉积物的来源^[21]。根据足迹赋存层位 18 个样品的粒度参数绘制散点图,对平均值、偏度和标准差进行相关性分析,并对照 Friedman 标准的结构参数散点图,可以得出,齐云山恐龙足迹点的沉积环境为河流相沉积环境,而沉积物的来源大部分为河相砂,少部分为湖相砂(图 6)。

5 古环境分析

恐龙足迹是恐龙在基底湿度、粘度合适的沉积物上留下的脚印,其保存有严格的古气候和古环境条件限制^[22-23]。一般情况下,足迹在潮湿地面形成以后,需要经过一段时间的干燥,待保存足迹的地面硬化后,再被后期沉积物掩埋,才能形成化石,因此,干旱地区广阔的滨岸环境保存足迹的可能性大一些^[2]。齐云山兽脚类恐龙足迹保存在丹霞地貌水平洞穴的凹腔内,其构景层为东南地区小型新月形断陷盆地——休宁盆地,属于亚热带气候,丹霞地貌中沉积的巨厚红色沉积物反映了当时气候干旱炎热的特点^[24]。

根据粒度参数、直方图特征,结合概率累积曲线和参数散点图可知,足迹层位的岩性以砂为主,含少量砾石和粉砂,为大型河流细边滩沉积的产物,与小型河流的粗边滩沉积不同,说明足迹保存在广阔的河流滨岸环境^[14]。通常来

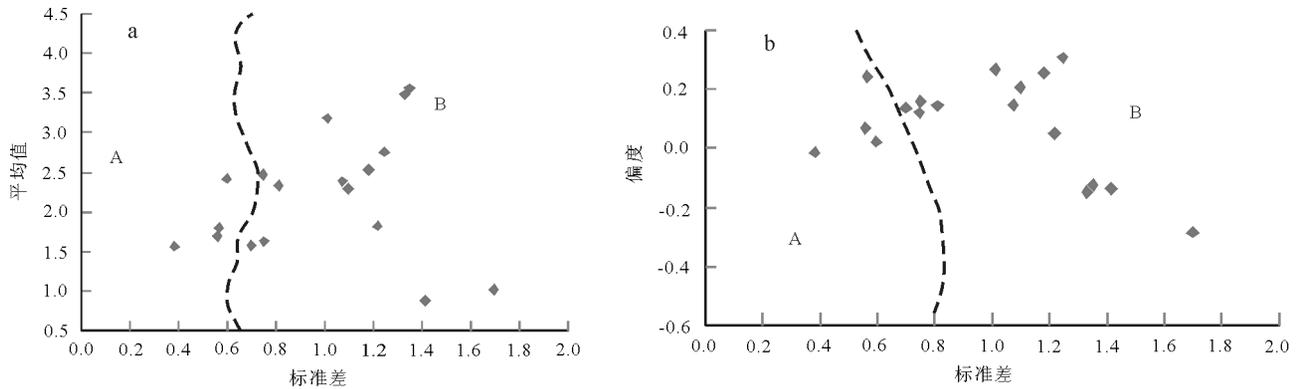


图6 恐龙足迹层位砂岩样品散点图

Fig. 6 The scatter plots of the sandstones from the dinosaur footprint layers

a—平均值对标准差的散点图；b—偏度对标准差的散点图；

A—湖(海)相砂；B—河相砂

说,在一定的范围内,含水率高,颗粒细、粘度大的基底留下的足迹深^[25]。小壶天足迹层位以中-细砂为主,沉积颗粒较粗,钙质胶结程度较高,通常不利于保存较深的足迹,但是小壶天能够保存较深的凸型足迹和尾迹,表明当时饱水程度较高,应为水下沉积,与概率累积曲线指示的边滩下部沉积一致。齐云山兽脚类足迹和尾迹的发现,说明研究区在晚白垩世生活着兽脚类恐龙动物群,而这些大型古河流很可能是兽脚类恐龙的水源地,这与Huber等^[26]提出的白垩纪—古近纪之交是显生宙最热、最典型的温室气候有关。

6 结论

安徽齐云山兽脚类足迹为保存在小岩组顶部紫红色钙质砂岩中的凸型足迹,保存在一起的还有无脊椎动物潜穴(*Palaeophycus tubularis* 和 *Scoyenia* sp.),指示陆相沉积。本文在野外详细地质调查的基础上,对足迹赋存层位岩石样品进行了薄片鉴定和粒度特征分析。足迹地层主要岩性为岩屑砂岩,成分成熟度和结构成熟度为一般-较高;该段砂岩自下而上平均粒径总体由大到小,标准偏差整体较差或中等,偏度与典型的河相砂一致;直方图指示,粒级整体以中砂和细砂为主,其次为粗砂,且有一定含量的砾石和粉砂,反映水动力条件变化较大;概率累积曲线图显示四段式→三段式→“低斜跳跃-悬浮”两段式。综合以上研究表明,含足迹地层从下往上,颗粒逐渐变细,水动力条件由强变弱,分

选性变差,由下部的河床沉积转变为上部的边滩沉积,与结构参数散点图所指示的沉积相和沉积环境一致。因此,齐云山兽脚类足迹点沉积环境为干旱炎热气候条件下的大型曲流河沉积,足迹赋存层位为水深较浅的边滩下部沉积环境。

致谢:野外和室内资料收集整理期间得到安徽大学张文媛老师,本科生吴秋宝、梁晴晴,以及齐云山地质公园管理处的帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1]Young C C. Fossil footprints in China[J]. Vert Pal Asiat, 1960, 4(1): 53-66.
- [2]李建军,白志强,魏青云. 内蒙古鄂托克旗下白垩统恐龙足迹[M]. 北京:地质出版社,2011: 1-109.
- [3]Zhang J P, Li D Q, Li M L, et al. Diverse dinosaur-, pterosaur-, and bird-track assemblages from the Hekou Formation, Lower Cretaceous of Gansu Province, northwest China[J]. Cretaceous Research, 2006, 27: 44-55.
- [4]邢立达,王丰平,潘世刚,等. 重庆綦江中白垩统夹关组恐龙足迹群的发现及其意义[J]. 地质学报,2007, 81(11):1591-1602.
- [5]Matsukawa M, Futakami M, Lockley M G, et al. Dinosaur footprints from the Lower Cretaceous of eastern Manchuria, northeast China: evidence and implications[J]. Palaios, 1995, 10: 3-15.
- [6]余心起. 皖南休宁地区恐龙脚印等化石的产出特征[J]. 安徽地质, 1999, 9(2):94-101.
- [7]Xing L D, Lockley M G, Zhang J P, et al. Upper Cretaceous dinosaur track assemblages and a new theropodichnotaxon from Anhui Province, eastern China[J]. Cretaceous Research, 2014, 49: 190-204.

- [8]Xing L D, Harris J D, Dong Z M, et al. Ornithopod (Dinosauria: Ornithischia) tracks from the Upper Cretaceous Zhutian Formation in the Nanxiong basin, Guangdong, China and general observations on large Chinese ornithopod footprints[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(7): 829-843.
- [9]Xing L D, Yang G, Cao J, et al. Cretaceous saurischian tracksites—from southwest Sichuan Province and overview of Late Cretaceous dinosaur track assemblages of China[J]. Cretaceous Research, 2015, 56: 458-469.
- [10]余心起. 皖南恐龙类化石特征及其地层划分意义[J]. 中国区域地质, 1998, 17(3): 278-284.
- [11]朱诚, 彭华, 李世成, 等. 安徽齐云山丹霞地貌成因[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 445-455.
- [12]吴跃东, 向钊. 安徽“两山一湖”地区地质遗迹资源评价[J]. 地质通报, 2007, 26(2): 231-240.
- [13]余心起, 王德恩. 安徽黄山地区侏罗纪—白垩纪层序地层学特征[J]. 现代地质, 2001, 15(1): 27-34.
- [14]陈建强, 周洪瑞, 王训练. 沉积学及古地理学教程[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 1-278.
- [15]Pemberton S G, Frey R W. Trace fossil nomenclature and the Planolites-Palaeophycus dilemma[J]. Journal of Paleontology, 1982, 56: 843-881.
- [16]White C D. Flora of the Hermit shale, Grand Canyon, Arizona[M]. Carnegie Inst Washington Publ., 1929, 405: 1-221.
- [17]杨式溥, 张建平, 杨美芳. 中国遗迹化石[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-353.
- [18]朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 1-483.
- [19]李明龙, 郑德顺, 龚文磊, 等. 济源盆地中侏罗统马凹组砂岩粒度特征分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(2): 25-31.
- [20]Folk R L, Ward W C. Brazos river bar: A study in the signification of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27: 3-27.
- [21]Friedman G M. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1967, 37: 327-354.
- [22]Lockley M G. Tracking Dinosaurs: A New Look at an Ancient World[M]. Cambridge University Press, Cambridge, 1991: 1-238.
- [23]何情, 张建平, 邢立达, 等. 北京延庆千家店地区土城子组恐龙足迹点沉积环境[J]. 地质通报, 2015, 34(9): 1726-1734.
- [24]周秉根, 吴莉淳. 休宁白垩系红层盆地的沉积特征和地貌发育[J]. 地理研究, 1992, 11(1): 23-29.
- [25]旷红伟, 柳永清, 吴清资, 等. 山东沐河裂谷带早白垩世晚期恐龙足迹群与古地理背景[J]. 古地理学报, 2013, 15(4): 435-453.
- [26]Huber B T, Norris R D, Macleod K G. Deep-sea paleotemperature record of extreme warmth during the Cretaceous[J]. Geology, 2002, 30(2): 123-126.
- ①安徽省地质矿产勘查局 332 地质队. 安徽齐云山丹霞地貌国家地质公园综合考察报告. 2001.