

贵州贞丰中三叠统关岭组中 *Chirotherium* ——原始爬行类足迹研究

吕洪波¹⁾ 章雨旭²⁾ 肖加飞³⁾

1) 石油大学(华东)地球资源与信息学院,山东东营,257062

2) 中国地质科学院地质研究所,北京,100037; 3) 中国科学院地球化学研究所,贵阳,550002

内容提要 在贵州省贞丰县龙场镇和牛场镇两地中三叠统关岭组下段的泥质白云岩中保存有古老的爬行类——“手兽”的足迹化石——*Chirotherium*。该足迹为四足动物留下的行走轨迹,后足保存较完整,前足可见零星和不完整的趾痕。单个足迹由五个脚趾和后掌组成,由于其中的四个脚趾伸向前方而第五趾由后掌外侧横向伸出且向后弯曲,整个足迹看上去犹如人的手掌印痕。由前足脚印保存不完全可以判断,该造迹动物既可以四足行走又可以仅靠后足奔跑。龙场足迹点保存完整的后足脚印最大为长16cm,宽14cm,平均单步长70.2cm,复步长为140cm;而牛场足迹点所见最大后足脚印长达25cm,宽17cm,平均单步长为52cm,复步长为98.5cm。笔者等参照国际上流行的计算方法,根据脚印长度和步长大小计算了两地造迹动物的臀高和行走速度:臀高大约0.64~1.0 m,估计身长可达2~3m,行走速度4~10km/h。考虑到造迹动物当时仅仅处于漫步和小跑状态,推测其奔跑速度可以达到20km/h以上。于欧洲、美洲等地发现的*Chirotherium*多数保存于三叠纪的红色砂泥岩层表面,其中多数岩层发育泥裂构造;还有些则保存于薄层碳酸盐岩层的表面,也多数发育泥裂构造。贞丰的两处足迹都保存于中三叠统关岭组下段发育泥裂构造的泥质白云岩表面,同样反映了当时炎热干旱的气候特点。在欧洲、南美洲、北美洲和亚洲的中国都发现了仅存于三叠纪的*Chirotherium*,说明这些地点在当时曾经属于同一个大陆,而且都处于干旱、炎热的低纬地区。由于该足迹点当时处于扬子古大陆南缘的台地上,而其东南侧则是著名的三叠纪南盘江复理石盆地,对该足迹的进一步研究有利于探讨台地和盆地的相变关系和生态差异,进而揭示盆地演化过程中与扬子板块的相互作用。

关键词 *Chirotherium* 爬行类足迹 中三叠世 关岭组 贞丰 贵州

2003年11月,笔者等在贵州贞丰县龙场乡石灰窑村考察台地相三叠纪沉积时,在新修的关(岭)兴(义)公路旁中三叠统关岭组下段发育泥裂构造的泥质白云岩层面上发现一组排列整齐的足迹和一些零星的相同足印。经查证,系为原始爬行类足迹——*Chirotherium*。

该足迹在欧洲、北美、南美等地均广泛分布,层位主要为中、上三叠统,已经有170多年的研究历史,研究文献很多,重视程度极高(Sarjeant, 1974, 1975, 1996; Lockley et al., 1996; Tresise, 1989, 1997)。

而在我国,贵州地质矿产局区调队王雪华和马骥(1989)最早报道了该遗迹,足迹发现地点为贞丰县牛场乡(现北盘江镇)下坝村上坝自然村旁,层位

也是中三叠统关岭组的下段。但当时他们将该化石看作是早期“五趾型恐龙”的行走遗迹。他们对其进行了详细的描述,附有两幅精美的素描图和一幅足迹尺寸数据表,但未给出照片。虽在结论中将之归入*Chirotherium*,但未对其进行进一步详细研究。甄朔南等(1996)也提及了该足迹,并给出了“手兽”这一中文译名(甄朔南等,1996)。但到目前为止,尚无对该足迹进行更为详细的研究。

笔者等对保存于龙场剖面的*Chirotherium*进行初步的描述与研究,通过与牛场剖面的同类足迹进行对比分析,并与发现于欧洲、美洲等地的同类属种进行比较,认为该造迹动物为可以二足行走的四足原始爬行类,生存于干旱的热带区域。

尽管早在1965年 Krebs 就将发现于瑞士 Ticino

注:本文为石油大学(华东)引进人才基金资助项目(编号 Y020109)的成果。

收稿日期:2003-12-25;改回日期:2004-06-16;责任编辑:王思恩。

作者简介:吕洪波,男,1957年生。分别于1982年和1985年在南京大学地质学系获得学士和硕士学位。在南京大学执教多年,并于1994~1995年受派于苏丹喀土穆大学任教授两年。1998年在南京大学地球科学系在职博士毕业。现为石油大学(华东)地球资源与信息学院教授。长期从事沉积学、大地构造学研究和基础地质学的教学工作。通讯地址:257062,山东东营市北二路271号,石油大学地球资源与信息学院;Email: hongbolu@hdpu.edu.cn。

河流域的“槽齿类”(*Ticinosuchus*)化石看作是 *Chirotherium* 造迹动物之实体化石(Carroll, 1988),但至今在世界上还没有得到广泛的承认,这就给该造迹动物蒙上了一层神秘的面纱,值得进一步探讨。因此,对中国发现的 *Chirotherium* 进行详细研究是十分必要的。

1 地质背景与足迹基本特征

化石产地于扬子板块西南边缘,三叠纪时为碳酸盐台地,其东南侧是著名的南盘江复理石盆地。关岭组(T_2g)为中三叠统最下部的一个组,主要由石灰岩、白云岩组成,夹少量泥岩,总厚度为440~810 m,下伏地层为下三叠统顶部的嘉陵江组(T_1j),上覆地层为中三叠统杨柳井组(T_2y),均为整合接触(贵州省地质矿产局,1987)。本组根据岩性组合可自下而上分为两段:

第一段:主要为白云岩与泥岩组合。底部为0.1~3m的黄绿、灰绿、灰白色斑脱岩化玻屑凝灰岩(俗称“绿豆岩”);下部以灰色中厚层白云岩为主,夹角砾状白云岩、泥质白云岩等;中上部以杂色(紫红、灰绿、褐黄等色)粉砂质泥岩、白云质泥岩与灰色泥质白云岩及泥质灰岩互层。本段厚约130~240 m。

第二段:下部以灰色薄至中厚层蠕虫状灰岩、含泥质灰岩为主,夹少量白云岩、泥质白云岩及白云质泥岩;中上部主要为灰色中厚层灰岩、白云质灰岩及白云岩。本段厚约240~640 m。

笔者等所见的足迹位于第一段的中部,出露点位于贞丰县龙场乡北石灰窑村新修的关兴公路西侧。露头岩石为薄层泥质白云岩,上下连续多层发育泥裂构造,而足迹化石就位于发育泥裂构造的泥质白云岩的上表面。该岩层厚23 cm,产状为:207° \angle 38°,层面出露面积大于20 m²。足迹点坐标(GPS值)为:N 25°28.243'; E 105°30.897'; H 1303 ± 7.6m(图版I-1)。

层面上至少有三组不同个体留下的足迹,但多数比较凌乱且保存不完整。最清楚的一组为大致向北直线延伸的足迹,其后足脚印较清楚,但也多数不完整(图1,图版I-2,3,4,5),而前足脚印只零星见于个别后脚印前方,而且仅保留脚印的部分趾痕(图版I-3)。左右两脚足迹几乎呈直线排列,单步长为70.2cm,复步长为140cm(图1)。一个完整的后足印长16cm,宽14cm,深约1cm(图版I-2)。在该列足迹的东侧4m左右的地方有一组与之平行的浅而模糊的足迹,脚印小而浅,步长小,足迹保存不清楚,但明

显的是与大痕迹的造迹动物一样向大致北方行走的动物所留下的脚印。此外,还有个别零星的后足迹分布于层面上,足印长远大于25cm,但边界却模糊不清,应该为地表更加干燥后留下的痕迹。

保留完整的后足脚印为五趾脚印,其中四趾向前方伸出,而第五趾在后掌外侧横向伸出并向后弯曲(图1,图版I-2)。大而清晰的一组脚印特征见表1。



图1 一列相对清楚的足迹
(贞丰龙场,中三叠统关岭组, T_g)

Fig. 1 A sketch map showing a trackway found in Longchang, Zhenfeng, Guizhou (Middle Triassic Guanling Formation)

在该点东北相距十几千米的牛场镇(现称北盘江镇),王雪华等(1989)报道的同类足迹化石也发育在关岭组下段具有泥裂构造的白云岩层面上。在三组足迹中,最大的足迹长达25 cm,宽17 cm,单步长为52 cm,复步长98.5 cm(表1,图版I-6,7,8)。

两处足迹保留于相同的层位和相似的环境,除了足迹大小有别外,其他特征基本一致,显然为同一时代同种动物行走留下的痕迹。

2 *Chirotherium* 的分布与研究历史

170多年前, *Chirotherium* 首先在德国的

Hessburg 引起科学家的注意,后来在英国多处地点相继发现相同的足迹。由于该足迹形态很像人的手掌,前面四趾分别像人的食指、中指、无名指和小指,而后面横着的好像人的拇指,因此被 J. J. Kaup 命名为“*Chirotherium*”,源于希腊语,意为“手形兽”(hand beast) (Lockley et al., 2000; Woolfall, 2001)。甄朔南等(1996)将其译为“手兽”。

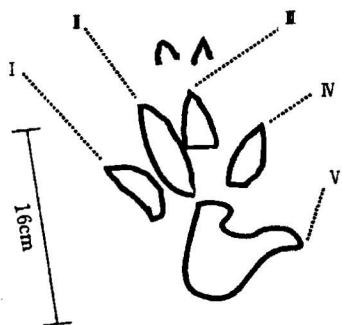


图2 一个典型的右后足痕迹和右前足两趾局部痕迹平面素描图(贵州贞丰龙场,中三叠统关岭组)

Fig. 2 A sketch map showing a typical footprint of right hind foot with the two toes of fore foot in front (found in Longchang, Zhenfeng County, Guizhou, Middle Triassic Guanling Formation)

表 1 贞丰龙场和牛场两地 *Chirotherium*
最大的两列后足特征比较

Table 1 Comparison of the *Chirotherium* reptile footprints
(the largest) from two different sites, Longchang
and Niuchang, in Zhenfeng, Guizhou

地点	后足迹大小(cm)			趾数	第V趾特征	复步长 ^① (SL, cm)
	长(FL)	宽(FW)	深(FD)			
龙场	16	14	1	5	外翻后弯	140
牛场	25	17	1.3~1.5	5	外翻后弯	98.5

注:本表数据为笔者等2003年11月和2004年5月2次实测。^①同侧前后两相邻两脚印间的距离。

令当时的科学家费解的是,该痕迹的“拇指”不是指向内侧伸出,而是向外侧弯曲(图2,图版 I-2)。直到1925年,德国科学家 Soergel 将该足迹与发现于南非的实体动物化石“假鳄类(Pseudosuchian)”进行比较后,才揭开“外翻拇指”之谜(Soergel, 1925)。“假鳄类”的足后部长着外翻的小趾,而不是“拇指”,因此,*Chirotherium* 的造迹动物完全没有必要左右交叉行走就可以留下带有“外翻”趾的足迹。考虑到其足迹近乎直线型的排列特点,科学界流行的看法是,该造迹动物是比恐龙还古老的原始爬行类(Lockley et al., 1999, 2002, 2003)。

在世界各地发现的 *Chirotherium* 都保存于三叠纪地层中(Jos et al., 1995),而且以中三叠世(Demathieu et al., 2002; Diedrich et al., 2002)和晚三叠世为主(Haubold et al., 2002; Melchor et al., 2002; Weems et al., 1993),有人认为早三叠世也有分布(Peabody, 1948; Klein et al., 2002)。

Chirotherium 在德国(Soergel, 1925; Klein et al., 2002)、英国(Tresise, 1969, 1989, 1997; Sarjeant et al., 1996)、法国(Demathieu et al., 2002)、西班牙(Jos et al., 1995)等欧洲国家发现的最多(Walson, 1914),研究程度也高(Lockley et al., 2000)。此外,在北美(Baird, 1954; Gillette and Lockley, 1991; Lockley et al., 1997; Weems, et al., 1993; Mickelson, 2002)、南美的阿根廷和巴西都有发现(Leonardi et al., 1990)。

Chirotherium 的大小差别很大,在一个地区同一时代,应该以所发现的最大的足迹为代表来比较、讨论不同地点造迹动物的大小和行为差别。目前报道的最大足迹发现于苏格兰 Arran 岛,时代为早三叠世,为后足印,长达 40.64cm,估计躯干长可达 3.6m 以上(若加上尾巴和头的长度则其身长会更大),被认为是当时最大的食肉动物,尽管还没有可靠的证据说明到底是食植物类还是食肉类(Johnson, 2003)。

Chirotherium 所处的时代为三叠纪,其造迹动物的出现比恐龙还早,而在地球上从繁盛到消亡却非常快,目前在世界上受到的重视程度至少与恐龙足迹一样重要,在包括恐龙在内的各种爬行动物足迹研究的重要专著中,都会提及 *Chirotherium*(甄朔南等,1996; MacDonald, 1994; Lockley et al., 1999; Lockley and Peterson, 2003)。

3 贞丰两处足迹造迹动物臀高与行走速度比较

根据足迹特征探讨爬行类生存习性、生态环境等一直是足迹学的研究目的之一,特别是痕迹动力学和古生态学是目前研究的重点(Lockley et al., 2002)。其中,足迹特征与动物臀高、行走步态以及行进速度等关系的研究已经比较成熟(Lockley, 1991, 1999)。

Alexander(1976)对现代陆上行走的脊椎动物之足迹特征与臀高和速度进行广泛的考察和测量,得出一个经验公式,并将该公式运用于恐龙等爬行动物足迹的研究中,获得了令人满意的结果。其公式

为:

$$V = 0.25 \cdot g^{0.5} \cdot SL^{1.67} \cdot h^{-1.7} \quad (1)$$

其中: V 为行走速度(km/h); $g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$, 为重力加速度; SL 为复步长(Stride length)(m); h 为臀高(m)(指臀部的高度), 大约为后足迹长度的4倍。

Thulborn(1990) 经过研究对该公式进行了修正:

$$V = \sqrt{gh \cdot \left(\frac{SL}{1.8h}\right)^{2.56}} \quad (2)$$

经过比较,笔者发现,据 Thulborn 公式计算的行走速度大于据 Alexander 公式计算的结果。

英国的 University of Sheffield(2003)在网上提供了在线计算器,用于恐龙以及其他爬行类臀高与行走速度等的计算。

笔者将贞丰龙场和牛场两处足迹的数据(表1)输入到网上计算器,很快便得出相关结果(表2)。可以发现,其速度计算结果实际上是根据上面公式(1)和(2)计算结果的平均值。

表 2 贞丰龙场、牛场 *Chirotherium* 造迹动物臀高和行走速度计算结果

Table 2 The calculation of hip height and locomotion speed on the trackmakers of *Chirotherium* in two different track sites, Zhenfeng County, Guizhou Province

	龙场	牛场	测量和计算方法
脚印长(FL)	0.16m	0.25m	后足脚印长度
臀高(h)	0.64m	1.00m	$h = FL \cdot 4$
复步长(SL)	1.40m	0.985m	同侧前后相邻脚印的距离
相对步长(RSL)	2.19	0.99	$RSL = SL/h$
行走速度(V)	9.97km/h	3.98km/h	据式(1)、(2)计算后平均
行走状态(步态)	小跑	散步	$RSL_{散步} < 2.0 \leq RSL_{小跑} < 2.9 \leq RSL_{快跑}$
资料来源	笔者等测量	笔者等测量	①

① 测量和计算方法据 Alexander, 1976; Thulborn, 1990; Univ. of Shef., 2003。

据王雪华等(1989)报道和笔者等考察,牛场的前足印大小明显小于后足印,长宽均约为后足印的一半,深度也明显浅得多,而龙场则很少见前足足迹,表明该类足迹的造迹动物是主要依赖后肢行走的。两地均未见尾巴的痕迹,表明尾巴应是悬空的,可能起着平衡的作用。

根据计算结果可以看出,牛场剖面最大足迹的造迹动物臀高大约为1.0 m,所以该动物包括尾巴身长应该在3 m 左右。而龙场剖面最大足迹的造迹动物臀高大约为0.64 m 左右,估计身长大约2 m。尽

管与世界上其他地点所发现的同类足迹相比,其造迹动物仅仅相当于中等身材,但作为中国南方三叠纪爬行类动物,其形体也属于庞然大物了。因此,估计该造迹动物在当时的陆上环境下占据着统治地位。

牛场的造迹动物当时处于漫步的行走状态,所以下足全部着地而留下完整的脚印,且前足每次都着陆而留下痕迹;而龙场的造迹动物当时处于轻快的慢跑状态,身躯主要靠后足支撑,前足已经很少着地,因此仅仅留下个别爪印而已。就后足而言,龙场的足迹之外翻小趾也不如牛场的保存完好,有的足迹仅仅留下前面四趾,说明在跑动状态下,身体重心前移,脚前趾承重加大,后掌着陆程度反而减轻了。此外,从相对步长的差别也可以看出两地的造迹动物当时的步态差别:龙场的造迹动物个头相对小,但其复步长却大(1.4m),而牛场的动物个头相对大,但其复步长却小(0.99m);龙场的动物处于小跑的状态,时速接近于10km,而牛场的造迹动物处于散步状态,时速仅4km。此外,由于龙场的造迹动物处于小跑状态,所以其整条足迹更接近于直线型;而牛场的造迹动物行走非常缓慢,故而留下“四方步”的足迹。

尽管上述行走速度计算结果不一定精确,但据此推测,既然轻快的小跑可以达到10km 左右的速度,那么该造迹动物的奔跑时速达20km 以上应该不成问题。

4 环境与地质意义讨论

保存 *Chirotherium* 的地层在贞丰县龙场和牛场两个剖面上都发育泥裂构造,可能为同一层位,其环境都为海滨潮上盐沼带,气候以炎热干旱为特征。当时的扬子古大陆内部必然存在着足够的植物以保证给食植类提供充足的食物,而食植类的繁盛又是食肉类动物生存的先决条件。不管 *Chirotherium* 的造迹动物是食植类还是食肉类,附近的陆地都应该有足够的植物存在。

该足迹后足足迹保存完好,而前足足迹仅零星保存,且大小和深度均远小于后足,说明造迹动物既可以用四足着陆漫步,又可以仅仅靠后足奔跑。

从发现于世界各地的 *Chirotherium* 所处的地层特点看,多数都为陆相砂、泥岩,而且多数发育泥裂构造(Lockley et al., 1999)。也有不少发现于碳酸盐岩层面上,但也多具有泥裂构造,为海滨潮上带或萨布哈环境(Diedrich, 2002)。可见, *Chirotherium* 造迹

动物生存的时代几乎全世界都处于炎热、干旱的环境之中。*Chirotherium* 造迹动物在水边活动则便于到水中洗澡散热,也可能为了到水中捕食。在美洲、欧洲、亚洲等的三叠纪地层中都发现原始爬行类足迹 *Chirotherium*,进一步证明了至少在当时或更早的时候这几个大陆彼此曾经相连在一起,而这些足迹点当时都位于低纬的炎热干旱地带。

当时化石产地的东南侧几十千米外就是相对深水的南盘江盆地,正接受着大量的陆源碎屑沉积,而且据最新研究,当时盆地正遭受来自南北两侧大陆块体的持续挤压作用(吕洪波等,2003),而处于扬子板块西南缘碳酸盐台地上的贞丰地区却明显地位于陆上。因此,当时的台地与复理石盆地间显然存在着显著的原始高差,碳酸盐台地作为相对刚性的块体为相对软弱的复理石盆地所受到的挤压变形提供了重要的边界条件。

本文没有对遗迹属进行足迹分类学的详细研究,所以目前尚未定出遗迹种,但笔者等认为有必要进一步详细研究并与世界其他地点发现的同类足迹进行对比,按照足迹学分类原理定出中国的 *Chirotherium* 遗迹种。

5 结论

贵州贞丰县龙场、牛场两地的中三叠统关岭组保存有爬行动物足迹化石—*Chirotherium*。该足迹由向前伸出的四个脚趾和脚掌外侧横向伸出的小趾构成,与发现于欧洲、南美洲、北美洲的同类足迹特征一样,其造迹动物生存于陆地或海滨潮上盐沼环境,气候干旱炎热。根据脚印的大小和步长计算,造迹动物的臀高可达1.0以上,身长可达2到3米,行走速度可达10km以上。

致谢 在野外工作中得到北盘江镇退休干部邓兴柏先生及其家人的帮助;在室内研究过程中曾向中国科学院南京古生物研究所张海春博士请教,并得到美国科罗拉多大学 Lockley 教授在脊椎动物足迹学方面的指点,石油大学(华东)孙昶旭同学协助清绘了部分图件,在此表示诚挚的谢意。笔者等还要特别感谢中国科学院古脊椎与古人类研究所李锦玲研究员,她非常认真地审阅了原文,并从古生物学角度提出了十分中肯的建议,特别是对野外观测方法的规范性和记录的要求等都给予了具体指导,这让非古生物专业出身的笔者受益匪浅。按照她的建议,笔者等于2004年5月再次赴贵州贞丰足迹产地重新进行了规范的野外测量和标本制作。

参 考 文 献

- 贵州省地质矿产局. 1987. 贵州省区域地质志. 北京: 地质出版社. 285~287.
- 王雪华, 马骥. 1989. 贵州贞丰发现中三叠世早期恐龙遗迹. 中国区域地质(2): 186~189.
- 吕洪波, 章雨旭, 夏邦栋, 方中, 周伟明, 彭阳, 吴智平, 李伟. 2003. 南盘江盆地中三叠统复理石中的同沉积挤压构造——一类新的沉积构造的归类、命名和构造意义探讨. 地质论评, 49(5): 449~456.
- 甄舜南, 李建军, 韩兆宽, 杨兴隆. 1996. 中国恐龙足迹研究. 成都: 四川科学技术出版社, 1~110.

References

- Alexander R McNeil. 1976. Estimates of speeds of dinosaurs. Nature, 261: 129~130.
- Baird D. 1954. *Chirotherium lulli*, a pseudosuchian reptile from New Jersey. Harvard College Museum of Comparative Zoology Bulletin, 111: 165~192.
- Carroll R L. 1988. Vertebrate Paleontology and Evolution. New York: W. H. Freeman and Company, 1~698.
- Demathieu G, Gand G. 2002. Early dinosauromorphs exemplified by Anisian—Ladinian footprints. Journal of Vertebrate Paleontology, 22(3): abstract — 87A, 19. See the website: <http://www.vertpaleo.org/meetings/Abstracts02.pdf>.
- Diedrich C, DiedrichPal N. 2002. Megatracksites in Middle Triassic Carbonate tidal flats in Central Europe—the sensation trackmakers in between trackbeds. Journal of Vertebrate Paleontology, 22(3): abstract — 87A, 19. See the website: <http://www.vertpaleo.org/meetings/Abstracts02.pdf>.
- Gillette D D, Lockley M G. 1991. Dinosaur tracks and traces. Cambridge University Press, 1~454.
- Guizhou Geological Bureau. 1987. Guizhou Regional Geology Records. Beijing: Geological Publishing House, 1~698 (in Chinese with English abstract).
- Haubold H, Klein H. 2002. *Chirotherium* und Grallatoriden aus die Entstehung der Dinosauria— Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften. Reihe B, 24: 1~22.
- Johnson I. 2003. In the footprints of Arran's hand beast. <http://www.scotlandsonunday.com/scotland.cfm?Id=586822003>.
- Jos A, Gamez Vintaned. 1995. The pre-hercynian rocks of the Sierra del Moncayo (Eastern Iberian Chain, Spain) and their palaeoichnology. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.), 90(1~4): 21~50.
- Klein H P, Haubold H. 2002. Chirotherians and Grallatorides from Lower to Upper Triassic deposits in Central Europe. Journal of Vertebrate Paleontology, 22(3): abstract — 87A, 44. See the website: <http://www.vertpaleo.org/meetings/Abstracts02.pdf>.
- Leonardi G, Oliveira F H. 1990. A revision of the Triassic and Jurassic Tetrapod footprints of Argentina and a new approach on the age and meaning of the Botucatu Formation footprints (Brazil). Revista Brasileira de Geociencias, 2(KI-4): 216~229.
- Lockley M. 1991. Tracking Dinosaurs: A New Look at an Ancient World. Cambridge: Cambridge University Press, 1~238.
- Lockley M. 1999. The Eternal Trail: a tracker looks at evolution. Perseus Books, 1~334.

- Lockley M, Lockley M G, Hunt A. 1999. Dinosaur tracks: And other fossil footprints of the western United States. Columbia University Press, 1~360.
- Lockley M, Wright J, White D, Matsukawa M, Li Jianjun, Feng Lu, Li Hong. 2002. The first sauropod trackways from China. *Cretaceous Research*, 23: 363~381.
- Lockley M, Peterson J. 2003. A Guide to the Fossil Footprints of the World. Gem Guides Book Co., 1~128.
- Lockley M G. 1998. The vertebrate track record. *Nature*, 396: 429 ~432.
- Lockley M G, King M, Howe S, Sharp T. 1996. Dinosaur tracks and other archosaur footprints from the Triassic of South Wales. *Ichnos*, 5: 23~41.
- Lockley M G, Fillmore B J, Lockley M, Lori M. 1997. Dinosaur lake: The story of the Purgatoire valley tracksite. Colorado Geological Survey, special Publication 40, 1~64.
- Lockley M, Meyer C. 2000. Dinosaur tracks and other fossil footprints of Europe. New York: Columbia University Press, 1~360.
- Lu Hongbo, Zhang Yuxu, Xia Bangdong, Fang Zhong, Zhou Weiming, Peng Yang, Wu Zhiping, Li Wei. 2003. Syn-sedimentary compression structures in the Middle Triassic Flysch of the Nanpanjiang Basin, SW China. *Geological Review*, 49 (5): 449~456.
- MacDonald J. 1994. Earth's First Steps: Tracking Life before the Dinosaurs. Boulder, Colorado, USA: Johnson Books, 1~290.
- Melchor R, De Valais S. 2002. Overview of the Triassic footprint record from Argentina. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 22 (3): abstract — 87A, 57. See the website: <http://www.vertpaleo.org/meetings/Abstracts02.pdf>.
- Mickelson D L. 2002. The diversity and stratigraphic distribution of pre-dinosaurian communication from the Triassic Moenkopi Formation, Utah. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 22(3): abstract — 87A, 58. See the website: <http://www.vertpaleo.org/meetings/Abstracts02.pdf>.
- Peabody F E. 1948. Reptile and amphibian trackways from the Lower Triassic Moenkopi Formation of Arizona and Utah. *University of California Bulletin of Geological Science*, 28: 295~468.
- Sarjeant W A S. 1974. A history and bibliography of the study of fossil vertebrate footprints in the British Isles. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 16: 265~378.
- Sarjeant W A S. 1975. Fossil tracks and impressions of vertebrates. In: Frey R W, ed. *The Study of Trace Fossils, A Synthesis of Principle, Problems and Procedures in Ichnology*. New York: Springer-Verlag, 283~324.
- Sarjeant W A S. 1996. A re-appraisal of some supposed dinosaur footprints from the Triassic of the England Midlands. *Mercian Geologist*, 14(1): 22~30.
- Soergel W. 1925. Die Fahrten der Chirotheria, Eine Palaeobiologische Studie. Gustav Fischer, 1~92.
- Tresise G R. 1969. The case of the elusive *Chirotherium*. *Amateur Geologist*, 4(1): 13~18.
- Tresise G. 1989. The Invisible Dinosaur—a Geological Detective Story. Liverpool: National Museum, 1~32.
- Tresise G. 1997. The Tracks of Triassic Vertebrates: Fossil Evidence from North-West England. Stationery Office Books, 1~204.
- Thulborn R A. 1990. *Dinosaur Tracks*. London: Chapman & Hall, 1 ~410.
- University of Sheffield. 2003. Dinosaur Speed Calculator. [Http://www.shef.ac.uk/~es/dinoc01/dinocal1.html](http://www.shef.ac.uk/~es/dinoc01/dinocal1.html).
- Walson D M S. 1914. The *Chirotherium*. *Geological Mag. N. Ser.*, (1): 395~398.
- Wang Xuehua, Ma Ji. 1989. The discovery of Early Middle Triassic dinosaur trace fossils in Zhenfeng, Guizhou. *Regional Geology of China*, (2): 186~189(in Chinese with English abstract).
- Weems R E, Kimmel P G. 1993. Upper Triassic reptile footprints and a coelacanth fish scale from the Culpeper Basin, Virginia. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 106(2): 390 ~401.
- Woolfall S. 2001. *Chirotherium*—The Hand Beast. <http://www.julianbaum.co.uk/chiro/chiro.html>.
- Zhen Shuonan, Li Jianjun, Han Zaokuan, Yang Xinglong. 1996. The study of dinosaur footprints in China. Chengdu: Sichuan Scientific Technological Publishing House, 1~110(in Chinese).

图 版 说 明

1. *Chirotherium* 出露点外貌(镜头指向 NNE)。位置:贞丰县龙场镇石灰窑村,关岭至兴仁公路西侧。GPS 值: N 25°28.243', E 105°30.897', H 1303 ± 7.6m。层位:中三叠统关岭组下部。
2. 一个较完整的右后足印保存于发育泥裂的泥质白云岩层面上(贞丰县龙场)。
3. 一个后足印及其前方的前足局部趾痕(边缘用粉笔描白, 贞丰县龙场)。
4. 一个后足足迹之四趾(边缘用粉笔描白, 贞丰县龙场)。
5. 一个右后足迹及其左前方的左后足足迹(边缘用粉笔描白, 贞丰县龙场)。
6. 一个完整的右后足印(贞丰县牛场)。
7. 一个完整的右后足印及其前方的前足趾印(贞丰县牛场)。
8. 一个完整的左后足印及其前方的前足趾印(贞丰县牛场)。

***Chirotherium*: Fossil Footprints of Primitive Reptiles in the Middle Triassic Guanling Formation, Zhenfeng, Guizhou Province, China**

LÜ Hongbo¹⁾, ZHANG Yuxu²⁾, XIAO Jiafei³⁾

1) Institute of Earth's Resources and Information, University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257062

2) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

3) Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou, 550002

Abstract

Chirotherium, fossil footprints of primitive reptiles, is found in the Middle Triassic Guanling Formation in two sites in Zhenfeng County, Guizhou Province, China. The footprints were first reported in China 15 years ago, but they have not been studied very well so far. The tracks were made by four-foot reptiles although the animals could walk or run with the support of only hind legs on land as only a few toe prints of fore limbs have been found in the tracks. A single footprint has 5 digits, like a human hand with four fingers spreading forward and a "thumb" curling back to one side. However, the "thumb" does not point to the inner side of the hand but to the outer side. Thus, the "thumb" is, in fact, the fifth digit, the little toe. The largest footprints in a clear trackway found in the Longchang site are 16 cm in length and 14 cm in width with a pace length of 70.2 cm and a stride length of 140 cm; while the largest footprints in the Niuchang site are 25 cm in length and 17 cm in width with a pace length of 52 cm and a stride length of 98.5 cm. The hip height and the locomotion speed for the track-makers of the footprints in the two sites are calculated according to the popular formulas provided by Alexander and Thulborn. The hip heights of the track-makers are 0.64 m in the Longchang site and 1.0 m in the Niuchang site, while the locomotion speeds were about 10 km/h and 4 km/h accordingly. It is estimated that the running speed for the track-makers might exceed 20 km/h according to the calculation. Most tracks of *Chirotherium* in the world were found in sandstones or mudstones with mud crack structures, while the tracks in Zhenfeng are found in muddy dolomite with mud cracks. Similar to other footprints of *Chirotherium*, the sedimentary rocks in which the tracks are found were all formed in dry and hot climates in Triassic. The footprints in the two sites are the only *Chirotherium* found in China, so they provide valuable information for the study of paleo-climate of the so-called Pangea in the Triassic. Besides, because the track sites are situated on the southwestern edge of the Yangtze Plate and nearby the northwestern edge of the Triassic Nanpanjiang Flysch Basin, it is very important to study further the ecology and sedimentary environment of the footprints so as to discuss the facies change and the tectonic relationship between the basin and the platform in the Triassic.

Key words: *Chirotherium*; reptile tracks; Middle Triassic; Guanling Formation; Zhenfeng, Guizhou

