

Early Cretaceous Dinosaur
and Other Tetrapod Tracks of
Southwestern China

中国西南早白垩世 恐龙及其他四足类足迹

邢立达 (英) 马丁·洛克利 张建平 著
Lida Xing Martin G. Lockley Jianping Zhang



Early Cretaceous Dinosaur
and Other Tetrapod Tracks of
Southwestern China

中国西南早白垩世
恐龙及其他四足类足迹

邢立达 (英) 马丁·洛克利 张建平 著

Lida Xing Martin G. Lockley Jianping Zhang

 宁波出版社
NINGBO PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

中国西南早白垩世恐龙及其他四足类足迹 / 邢立达,
(英) 马丁·洛克利 (Martin G. Lockley), 张建平著. —
宁波: 宁波出版社, 2016.12
ISBN 978-7-5526-2768-8

I. ①中… II. ①邢… ②马… ③张… III. ①早白垩
世—恐龙—足迹—研究—西南地区 IV. ① Q915.864

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 315319 号

中国西南早白垩世恐龙及其他四足类足迹

邢立达 (英) 马丁·洛克利 (Martin G. Lockley) 张建平 著

责任编辑 何培瑶

责任校对 尤佳敏 虞姬颖

装帧设计 金字斋

出版发行 宁波出版社

地 址 宁波市甬江大道 1 号宁波书城 8 号楼 6 楼 315040

电 话 0574-87279895

网 址 <http://www.nbcbs.com>

印 刷 浙江新华数码印务有限公司

开 本 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 26.75

字 数 561 千

版 次 2016 年 12 月第 1 版

印 次 2016 年 12 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5526-2768-8

定 价 350.00 元



如发现缺页或倒装, 影响阅读, 请与承印厂联系调换 电话: 0571-85155604



周忠和

中国科学院院士,美国科学院外籍院士,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所所长,国际古生物学会主席

该书描绘了大量最新发现的神奇生命印记,生动再现了一亿多年前发生在我国西南地区的远古故事,令人印象深刻。



迈克·本顿

英国皇家学会院士,布里斯托尔大学教授,国际古生物学会前主席

中国的化石记录包罗万象,每每让人醍醐灌顶,而且新的发现还在不断涌现。邢立达和他的团队描述了大量恐龙足迹和其他脊椎动物化石的新证据,在这个领域里挥洒出了精彩绝伦的篇章。他们的成就对全球化石研究来说都具有重要意义。



林鍾惠

大韩民国国立文化遗产科学研究院自然遗产部总策展人

本书以流畅生动的语言对恐龙足迹进行了全面介绍,是该领域不可多得的入门佳作,是了解恐龙足迹学和行为学的上乘之选!

Early Cretaceous Dinosaur
and Other Tetrapod Tracks of
Southwestern China



序

过去的二十多年是中国恐龙研究的黄金时期,尤其是带羽毛恐龙化石的发现,帮助我们更好地认知了中生代时期的地球生命系统,也吸引了科学工作者和公众的广泛关注。这些发现如此耀眼,以至于我们忽视了另外一个欣欣向荣的研究领域:恐龙及其同时期的四足动物足迹化石的研究。

恐龙足迹学是恐龙研究的一个重要分支,能够为恐龙骨骼化石研究提供重要的补充信息;尤其是在骨骼化石缺乏的情况下,足迹信息能够帮助我们了解中生代时期恐龙动物群的诸多方面。在过去的十几年中,中国的足迹化石研究也取得了大量的成果,其中一部分反映在邢立达博士的《中国西南早白垩世恐龙及其他四足类足迹》一书中。

这本书基于邢立达博士对中国西南地区 20 余个足迹化石点的大量野外考察而成,是一本基础资料非常扎实的专著。他在书中报道了至少 13 种不同的非鸟恐龙足迹(包括 3 个新种)、2 种鸟类足迹,以及翼龙和龟类足迹,极大地丰富了我们对于中国西南地区白垩纪早期陆相生态系统的认识。通过分析这些足迹化石,邢立达博士总结了西南地区白垩纪早期足迹群的特点,显示西南地区不同盆地四足动物足迹群具有不同特点,指出了西南地区和中国同时期其他动物群的紧密联系,也阐述了以中国西南地区为代表的东北亚早白垩世四足动物足迹群和其他一些同时期足迹群的明显差异。当然,这本书不仅涉及了作者大量原创性工作,还介绍了中国足迹学的研究历史,介绍了中国乃至世界白垩纪早期足迹学的研究情况,让读者能够对足迹学,尤其对白垩纪早期的恐龙足迹研究有个全面的了解。

这些年来,邢立达博士在恐龙足迹学研究方面成果丰硕,发表的论文占了同时期发表的足迹学论文的一个很高比例,推动了中国足迹学研究的快速发展。这得益于

他勤奋的工作和刻苦的钻研。据我所知，他每年至少有数月时间在野外寻找和研究足迹化石，许多发现填补了空白；他也积极采用新方法和新技术来研究恐龙足迹，得出更可信的结论。除了恐龙足迹学，邢立达博士还涉足古病理学和形态功能学等其他恐龙学的研究领域；同时，他还是一个热心的科普工作者，发表了许多科普作品。我非常高兴看到新一代的恐龙研究者成长起来，继续推动中国恐龙学研究走向一个更高水平。



中科院古脊椎所

2016年6月22日

Preface

A generation ago, in 1989, a review paper on dinosaur tracksites from China listed only 22 known localities: 15 in the Jurassic and 7 in the Cretaceous. Since then there has been a global renaissance in the study of dinosaur tracks and other tetrapod footprints. By 2014 the list of known sites had grown dramatically. Well over 100 sites were known and documented across China. Of these about 70 were from the Lower Cretaceous. This 10-fold, order of magnitude increase in the database is not the end of the story, discoveries continues on a regular basis and the database continue to grow. Thus, China has played an important role in the advancement of dinosaur and tetrapod paleontology in the last 20 years, not least because of the discovery of feathered dinosaurs in 1996. While the study of avian and non-avian theropods, especially in China, has revolutionized our understanding of the evolution of theropods and birds, the study of tracks has also had a major impact on the field.

Studies of Early Cretaceous tracks in southwestern China, particularly in Sichuan, Chongqing and Yunnan have been particularly interesting, because in these regions body fossils of Early Cretaceous dinosaurs and tetrapods are rare and very poorly known. Thus, much of what we know about the distribution, diversity and paleoecology of tetrapods in this region is based on tracks. Many of the sites are dominated by the tracks of small and medium-sized theropods and large sauropods that lived in inland basins subject to deposition of clastic (sand and silt) red bed sequences. This demonstrates that many of these fluvial environments were saurischian-dominated. However, enough is known of the track types to show a significant diversity of theropods. These included the diminutive,

robin-sized maker of *Minisauripus* tracks, only 2—3 cm long, which are known only from China and Korea. Likewise southwest China appears to be one of the world's best regions for finding two-toed raptor or dromaeosaur tracks, which are also abundant both in Korea, but rare elsewhere in the world. Ornithopod tracks representing *Iguanodon*-like dinosaurs are rare in the earliest part of the Early Cretaceous, but become more common later in the Early Cretaceous. Tracks of the shield-bearing thyreophoran dinosaurs, the armored ankylosaurs and plated stegosaurs, are rare in the Cretaceous of southwestern China, although some occur in western China.

One of the surprises in the Early Cretaceous track record is the abundance of bird tracks representing small plover- or sandpiper-sized species that would have had small delicate bones which would very rarely have been preserved. The same observation can be made about pterosaurs which are mostly known from relatively small tracks. Such data, most of which has recently been published in high-quality international journals, is very useful to paleontologists, teachers and resource managers. Without the track data we would have to confess that large regions of southwestern China had yielded few if any useful tetrapod body fossil. By contrast dozens of tracksites provide evidence of at least a dozen species of dinosaurs, pterosaurs and birds. Some of the sites are particularly spectacular. For example the "lotus" site from Qijiang reveals the best-preserved ornithopod trackways from Asia showing adults that walked on all fours and babies that walked only on their hind feet. The site also contains many distinctive parallel trackways of a relatively large bird as well as a number of pterosaur trackways. In addition, the site is historically important as part of an ancient 13th century fortress, and is in a sheltered location which protects the tracks from erosion. Other significant Early Cretaceous sites in southwestern China include the Emei site where the first *Minsauripus* was found in association the first bird tracks ever reported from China. The site also yielded the first dromaeosaur tracks, named *Velociraptorichnus*, found anywhere in the world. The second *Minisauripus* tracksite from Sichuan is also spectacular and important for the role, it has played in debates about how to tell the difference between theropod tracks made by small adults and babies. Collectively despite the lack of body fossils the track record shows that most important tetrapod groups were present in the region: the saurischian and ornithischian dinosaurs, the pterosaurs and the birds. Crocodylians appear to be absent,

perhaps because the lacks and rivers were unsuitable as habitat for this group. Turtle tracks occur but are not common.

The present volume is based on extensive field work in southwest China the authors have visited all the sites here described and studied the footprint and museum collections first hand over many years. The authors have also made it apolicy to record all recognizable tracks on maps and for the database. As the rate of discovery continues to increase the database grows in importance. The number of recorded tracks now reaches into the thousands and has been resolved into reliable counts of hundreds of trackways that serve as a proxy census forestimating the number of individual trackmakers represented. The study of dinosaur and other tetrapod tracks in the Early Cretaceous of southwest China has proved the region to be one of the most interesting and track-rich in the world. The data we have derived has allowed comparisons with databases from Europe and North America, and gives us better understand of the paleoecology of this epoch. The track record reviewed here is a window into life in southwestern China in the Early Cretaceous.

Martin Lockley

2016/6/20

自序

酷爱恐龙的我有时候对有些“死气沉沉”的恐龙化石“不感冒”。总是忍不住去想它们活着的时候是什么样子的。从一块北美常见的鸭嘴龙趾骨上，我可以脑补出一个遮天蔽日的龙群浩浩荡荡走来的情形，其中有年轻力壮的，有年老力衰的，有年幼力弱的，甚至还有犯病或跛脚的成员，它们的行为各异，却也构成了别样的生动。

遗憾的是，虽然一件件骨骼化石在学者手中得以“借骨还魂”，但上述那种宏伟的场景很难通过骨骼化石重建出来，这是骨骼化石埋藏属性中的局限性，因为恐龙死亡之后，其尸体经常在水动力的影响下移动，直到支离破碎。

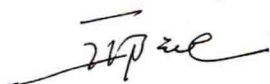
但有一类化石却并非如此，它们就像定格动画一般，如实地记录了恐龙的日常，这就是恐龙的足迹化石。足迹学是遗迹学分支，专门研究脊椎动物（尤其是四足类）活动留下的痕迹，包括了行走/奔跑/蹲伏、游泳、求偶/筑巢等各种活动的证据，具有指示动物习性和生活环境的意义。绝大多数足迹形成之后不再移动位置，因此代表了原地埋藏时的环境。在地质时期中，相似的环境经常出现相似的足迹化石，因此足迹相还有指示古环境的作用。通过对足迹化石群的分析，不仅能够揭示造迹者的行为习性，还可以为古生物群落的丰度和分异度、介质（如水体）状况、基底性质等提供丰富的证据。近30年来，恐龙足迹学迅速发展，逐渐成为一门典型的交叉学科，它包含了脊椎动物遗迹学、古生物学、沉积学、运动学和行为学等。

我们知道，早白垩世是地球历史上地质变化最强烈的时期之一。这些地质事件使得生物必须积极适应不同环境与气候，因此对其演化有着明显的影响。也因此，早白垩世成为研究动物演化的绝佳窗口。我原本的目标是完成整个中国早白垩世的恐龙足迹群描述，但受限于精力与时间，以及不可抗拒力的影响，只能将目标局限在其中一个最重要的闪光点，这就是几乎毫无早白垩世骨骼化石记录的西南片区。该片

区丰富的足迹记录弥补了这个不足。我从2006年夏季开始研究该地区的恐龙,迄今已经10年。这10年间,由我领衔的团队陆续发表了10余篇关于该区域恐龙足迹的学术论文,其中多数成果在我读博期间(2012—2016年)取得。这些论文基本都是用英文论述,其中一些文章也有一些不完美之处,所以很高兴能在博士论文阶段有一个机会来重新整理这批论文。本专著的部分内容翻译自此前发表的论文,但这绝不是简单的翻译,我重审了大部分的发现,并有诸多改善。在整合所有数据之后,我系统重建了该地区的早白垩世恐龙动物群,使得进一步的深入研究成为可能。

这本专著是西南区域早白垩世恐龙足迹的总结性论著,其问世能在一定程度上弥补国内恐龙足迹学研究资料匮乏的缺陷,期待其能对我国恐龙足迹学发展,特别是学科技术进步和人才培养起到积极作用。本书适合在恐龙学、恐龙足迹学领域从事科研、教学和野外科考的人员阅读参考,希望它能成为广大古生物学者、专业院校师生等学习足迹学最新理论、观念和技术,进行知识更新所必备的工具书。

本书另外两位作者是马丁·洛克利教授(Martin G. Lockley)和张建平教授。洛克利教授是美国科罗拉多大学(丹佛)地质系教授,足迹博物馆馆长,目前已发表恐龙足迹学论著约700篇,是全球最权威的足迹学家。洛克利教授从我的硕士阶段开始,一直担任我的学术顾问。我的博士阶段的导师张建平教授是优秀的遗迹学家,近年来专注于中国的世界地质公园与国家地质公园事业,取得了令人瞩目的成就。



2016年6月7日

目录

序	徐星
Preface	Martin G. Lockley
自序	邢立达

第1章 绪论

1.1 研究背景及依据	001
1.2 中国恐龙足迹研究简史	006
1.3 世界早白垩世恐龙足迹	009
1.4 中国早白垩世恐龙足迹	019
1.5 研究内容与方法	023

第2章 区域地质概况

2.1 米市 - 江舟盆地的下白垩统	032
2.2 四川盆地的下白垩统	041

第3章 米市 - 江舟盆地早白垩世恐龙足迹研究

3.1 发现与研究历史	048
3.2 三比罗嘎一号足迹点	051
3.3 三比罗嘎二号和北二号足迹点	068
3.4 解放沟足迹点	110
3.5 巴久足迹点	115
3.6 央摩祖足迹点	129
3.7 母脚吾足迹点	147

3.8 吉尔博石足迹点	160
3.9 足谷和依子足迹点	164
第4章 四川盆地早白垩世恐龙足迹研究	
4.1 发现与研究历史	167
4.2 宜宾、峨眉和赤水的足迹记录	168
4.3 莲花保寨足迹点	179
4.4 虎山足迹点	249
4.5 汉溪足迹点	252
4.6 新阳足迹点	278
4.7 新阳二号足迹点	289
4.8 龙井足迹点	291
4.9 石庙沟足迹点	300
4.10 雷背足迹点	323
4.11 石花湾足迹点	332
第5章 四川盆地和米市－江舟盆地的古生态学	
5.1 古环境背景与骨骼化石记录	336
5.2 主要足迹点恐龙动物群概述	337
5.3 古生态学	342
第6章 结论与展望	
6.1 主要结论	348
6.2 存在的问题与研究展望	350
致谢	353
参考文献	357

绪 论

1.1 研究背景及依据

早白垩世是地球历史上地质变化最强烈的时期之一,联合古陆(泛大陆)进一步分离及破碎化,各地发生了强烈的海底扩张和频繁的火山活动(Tejada et al., 2002; Riisager et al., 2003)、大洋缺氧事件(Schlanger and Jenkyns, 1976)、超静磁带(或白垩纪正极性超时)(Helsley and Steiner, 1969)、海平面升高(Stoll and Schrag, 1996)、温室气候形成,以及地球温度的升高(Herman and Spicer, 1996; Kuypers et al., 1999; Bralower et al., 1999; Larson and Erba, 1999)。所有这些事件都使得当时的生物必须积极应对,以适应不同环境与气候。环境与气候对生物演化有着明显的影响。因此,早白垩世成为研究动物演化的绝佳窗口。这个时期的世界各地出现了一些极具特色的生物群,比如发育于东北亚地区的陆相热河生物群(Jehol Biota),包括了昆虫、两栖类、翼龙、恐龙(含鸟类)、哺乳类和被子植物等,代表了早白垩世一次重要的生物辐射事件(Zhou, 2004)。

早白垩世,陆生动物的主导仍然是主龙类(archosaurian),尤其是恐龙。早白垩世是恐龙演化史上最具多样化的阶段之一,比如,虚骨龙类已经出现了很高的分异度(Xu, 2006),禽龙类(Iguanodontia)在很多地区成为优势物种(Norman, 2004)。

Dong (1992)将中国恐龙化石的地史分布归纳为五个连续动物群:

- (1) 早侏罗世的原蜥脚类-禄丰龙动物群(Prosauropod-Lufengosaurus Fauna)
- (2) 中侏罗世的真蜥脚类-蜀龙动物群(Eusauropod-Shunosaurus Fauna)
- (3) 晚侏罗世的新蜥脚类-马门溪龙动物群(Neosauropod-Mamenchisaurus Fauna)
- (4) 早白垩世的鹦鹉嘴龙-翼龙类动物群(Psittacosaurid-ptrosaurian Fauna)
- (5) 晚白垩世的鸭嘴龙-巨龙类动物群(Hadrosaur-Titanosauria Fauna)

其中，早白垩世的鸚鵡嘴龍和翼龍類在中國有較廣泛的分布。該時期的動物群中，最具代表性的是以遼寧西部為主的热河生物群 (Zhou et al., 2003)。除辽西地区之外，其他重要的恐龙化石点还包括：甘肃酒泉盆地 (Bohlin, 1953)、民和 - 兰州盆地 (You et al., 2005)、新疆准噶尔盆地 (Dong, 1973)、内蒙古鄂尔多斯盆地 (Russell and Dong, 1993)、广西扶绥那派盆地 (Mo et al., 2006)。此外，山东莱阳地区也有零星的发现 (Young, 1958)。所有这些发现已经囊括了恐龙的几个主要类群，包括兽脚类、蜥脚类、鸟脚类、剑龙类、甲龙类和角龙类。

作为典型的遗迹化石，恐龙足迹蕴含了丰富的信息，是恐龙动态行为的缩影。于是，恐龙足迹学成为一门非常生动的学科。这 30 年来，这门学科得以迅速发展 (如 Lockley, 1986a, 1987a, 1989, 1991a, 1998, 1999)。恐龙足迹学的一项重要功能，就是能有效地、快速地判定当时当地动物群的构成 (图 1-1)，而这些信息恰好能在相当程度上弥补骨骼化石记录的局限性 (Lockley, 1986a)。中国是一个疆域辽阔、以陆地为主的国家，发育着大量的晚中生代盆地，这些沉积记录既包含了骨骼化石，也蕴藏着大量的恐龙足迹，窥一斑而知全豹，为我们打开了一扇窥视恐龙演化的窗口。此外，如今的恐龙足迹学还是一种典型的学科交叉的产物，除了脊椎动物遗迹学，它还包含了骨骼形态学、沉积学、运动学和行为学等 (Marty, 2008)。总之，恐龙足迹学已不再是以往所认为的是一门信息匮乏的学科。

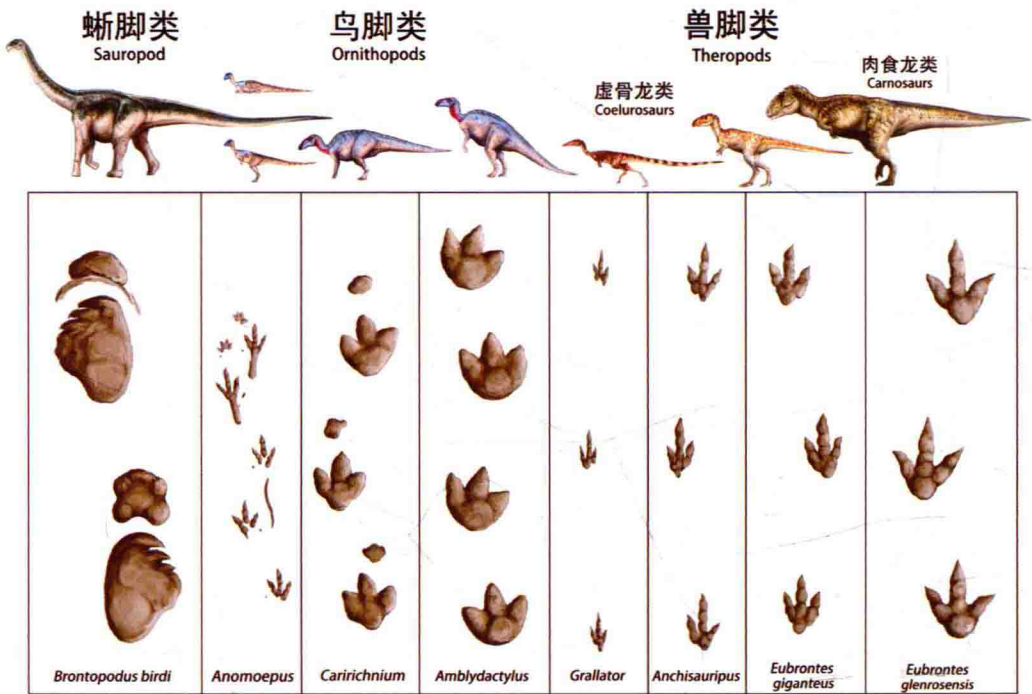


图 1-1 不同类型的恐龙留下差异明显的足迹 (Xing, 2010b)

最近5年,中国的早白垩世恐龙足迹研究取得了很大的进展,主要体现在更多的足迹点被记录(Lockley et al., 2014a)(图1-2),新的研究手段的应用等方面。目前,中国发现的四足类(tetrapod)动物足迹点迅速增加,已超过100处,其中约70处遗迹属于白垩纪(Lockley et al., 2014a)。这些新进展主要集中在中国极具潜力的西北部(甘肃、内蒙古和新疆等)—西南部(四川、重庆、云南等)的荒漠、半荒漠与山地地区。其中四川夹关组地层发现了丰富的足迹记录(如Xing et al., 2007),内蒙古查布地区发现了大量的非鸟恐龙与鸟类足迹(Li et al., 2006; Li et al., 2011),新疆乌尔禾地区也发现了类似的组合(如Xing et al., 2011a)。甘肃的发现最初记录于2000年(Li et al., 2000),之后虽然有简单的描述(Du et al., 2001; Li et al., 2006; Zhang et al., 2006),但缺乏系统的研究。除了西部和西南部,中国的东部也有较多的早白垩世恐龙足迹记录,这些足迹体现了浓厚的东亚特色,如*Dromaeopodus*、*Velociraptorichnus*、*Minisauripus*。这些只出现在东亚(中国与韩国)的足迹,暗示着白垩纪兽脚类的分化和特化(Li et al., 2007; Lockley, 2012)。所有这些记录的研究程度参差不齐,目前尚缺乏与横向(空间)及纵向(时间)的其他动物群相对比的研究。整体而言,目前,中国的山东、内蒙古、新疆等地的研究程度已经较高,但甘肃兰州—民和盆地、四川夹关组、飞天山组等地区的恐龙足迹研究都较为薄弱。本研究主要针对中国西南片区的下白垩统材料进行研究。

在行政区域上,中国西南地区包括四川省(川或蜀)、云南省(云或滇)、贵州省(黔)、重庆市(渝)及西藏自治区(藏)共三省一市一区,总面积达250万平方千米。其中,早白垩世红层最集中的区域分布在四川盆地(川—黔—渝)和米市—江舟盆地*(图1-3),这两处盆地之外,其他省区的早白垩世红层则不甚发育。

贵州省的白垩系主要分布于水城、晴隆、贞丰—一线北东广大地区,缺失早白垩世早、中期沉积。其中,赤水、习水地区的白垩系与四川盆地毗连,属大型内陆拗陷盆地边缘河流相沉积。

云南省的下白垩统不甚发育,昆明、曲靖、昭通地层小区都缺失早白垩世早期沉积,下白垩统上部马头山组目前尚未发现确凿的脊椎动物化石与足迹记录。在跨统的安宁组,Xing et al. (in press e)记述了数个四足类足迹,包括了相对罕见的游泳迹。

西藏是我国白垩系海相沉积分布最广泛的地区,白垩系发育完整,各门类化石十分丰富,是研究白垩系的理想地区。然而,在这些海相沉积中,主要盛产菊石和双壳类,而缺乏陆生脊椎动物的记录。

在对四川盆地中生代足迹记录进行调查之前,该盆地已知的非鸟恐龙化石记录在很

* 东侧的米市—江舟盆地与西侧的峨眉—昭觉盆地共同构成了西昌盆地,本文除央摩祖足迹点之外都位于米市—江舟盆地,央摩祖足迹点位于与其相邻的峨眉盆地。