

中国国土资源大调查成果系列丛书

四川盆地中生代 恐龙动物群古环境重建

王全伟 梁 斌 阚泽忠 李 奎 朱 兵 纪相田 著

SICHUANPENDI ZHONGSHENGDAI
KONGLONG DONGWUQUN GUHUANJING CHONGJIAN

地质出版社

四川盆地中生代 恐龙动物群古环境重建

王全伟 梁 斌 阚泽忠 著
李 奎 朱 兵 纪相田

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

根据中国地质调查局关于四川盆地中生代恐龙动物群研究项目(200313000051)研究的需要,在深入研究前人关于四川盆地中生代地层与恐龙成果资料的基础上,有针对性地进行了四川和重庆境内的9处重要恐化石(含同层位的硅化木)埋藏地和开发地的地层及沉积相剖面测制和地质路线观察,系统采集和分析测试了样品,重新划分了四川盆地中生代恐龙动物群,并研究了它们的演化关系。首次开展了以碳、氧同位素与分子化石探索陆相古水体、古气候和古植物的研究。通过对遗迹化石、双壳类和植物孢粉化石及重要恐龙埋藏地地层学,以及相关泥质岩的常量元素、微量元素和稀土元素特征的系统研究,恢复了晚三叠世—晚白垩世四川盆地的古植被和古构造背景,重塑了中生代恐龙生活与埋葬的环境和气候。

书中的相关研究成果是系统研究有关陆相盆地的气候、植被和环境演变规律的基础。本书可供从事区域地质调查、环境地质研究领域的人员参考,也可作为有关高等院校和科研单位研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

四川盆地中生代恐龙动物群古环境重建/王全伟等著.

—北京:地质出版社,2008.1

ISBN 978-7-116-05575-9

I. 四… II. 王… III. ①四川盆地—中生代—恐龙—动物化石—研究②四川盆地—中生代—脊椎动物门—动物化石—研究③四川盆地—中生代—古环境—研究 IV. Q915.86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 000550 号

责任编辑:白 铁 王大军 刘建三

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

咨询电话:(010)82324538(总编室);(010)82324579(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787mm×1092mm¹/₁₆

印 张:13.125 图版:8

字 数:310 千字

印 数:1—800 册

版 次:2008 年 1 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:40.00

书 号:ISBN 978-7-116-05575-9

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

恐龙是地球上早已灭绝的一类大型陆生爬行动物,是中生代地球的统治者;恐龙化石是世界各自然博物馆最吸引观众的展品。恐龙最早出现于三叠纪晚期(230Ma),繁盛于侏罗纪和白垩纪,灭绝于白垩纪末期(65Ma),在地球上生存了大约 140Ma,是地球历史上最庞大的动物群之一。恐龙化石埋藏于从北极至南极的世界各大陆中生代地层中。恐龙以其地理分布广泛、化石埋藏丰富、个体形态多样、体型巨大奇特和神秘集群灭绝等特征成为科学家瞩目的研究对象,同时也提醒人们对人类自身所面临的日益严重的人口、资源与生态环境等问题进行思考。

一、项目来源及目的任务

“四川盆地中生代恐龙动物群古环境重建”系中国地质调查局下达、四川省地质调查院承担并完成的国土资源大调查项目——“四川盆地中生代恐龙动物群研究”成果。项目于 2003 年启动,2005 年完成,2006 年 9 月在北京通过中国地质调查局评审验收,被评为优秀级成果。本书就是在此基础上编撰而成的。

本书研究与论述的重点是:

- 1)开展重要的恐龙化石埋葬区地层学研究,确定赋存恐龙地层的层位和古环境参数,恢复恐龙生活时代的生态环境、植被类型和古气候特征;
- 2)探讨四川盆地中恐龙埋葬区的生态环境及恐龙死亡和埋葬原因。

通过对四川盆地恐龙动物化石群的产出分布特征、重要恐龙埋藏地地层剖面的地层学与沉积学特征研究,结合环境地球化学、分子地层学的研究,尽力恢复四川盆地中生代恐龙生活时代的古生态、古环境、植被类型和古气候特征,探讨恐龙埋葬区的生态环境及恐龙集中死亡和埋葬原因;并通过区域对比研究,进而探讨恐龙动物群演化规律及重大地质事件、生态环境的变化与恐龙灭绝的关系。

二、研究区概况

四川盆地系由长江支流汇集涵养的陆内盆地,北面屏障——秦岭,西邻高耸的青藏高原,南面为云贵高原。盆地周围重峦叠嶂,中部呈丘陵和平原;地势西北高,南东逐渐降低,形似东北延伸之菱形状;面积达 30 万 km^2 (包括重庆市)。盆地四周有大凉山、龙门山、大巴山、巫山和云贵高原上的大娄山等山脉,海拔在 800~3000m 之间。岷江自盆地西部流入,并形成广袤的成都冲积平原,其余地貌均为低缓阜状丘陵和部分低山。嘉陵江、岷江、沱江及乌江之水由南北两侧汇入长江,经盆地东缘过巫山向东流去。四川盆地地大物博、资源丰富,油气、岩盐、煤、煤层气等储量大;工业比较发达、农业兴旺、人口稠密。在中国经济区位

中,它为我国西部开发战略之要塞和重镇,为长江上游经济开发之首,是联系我国东、西部之纽带,在经济、科技发展方面发挥着重要作用;在地理位置上,四川盆地属于长江上游生态环境的屏障。

在大地构造上,四川中生代陆相红色盆地位于扬子陆块西缘内侧,是我国最大的内陆盆地之一,也是亚洲著名的红色盆地。盆地内中生代地层序列保存完整、厚度巨大(总厚 1500~3500m)、构造变形弱,恐龙化石分布广、数量多、保存好、跨越地质时间长、伴生动物化石丰富,素有“恐龙之乡”、“恐龙王国”之美誉。

三、恐龙研究的现状及进展

四川盆地自 1820 年最早发掘出恐龙化石并进行科学命名起,对恐龙的研究已有近 200 年的历史,已积累了大量的资料并取得许多重要成果。对恐龙研究的进展随生物学研究,特别是随脊椎动物学的各种分支学科的前进而不断地推向前进。和其他各类古脊椎动物一样,恐龙研究的基本方法是建立在形态学、分类学和比较解剖学的基础上的。早期对于恐龙的描述鉴定就以这些方法为主,直到现在仍然是恐龙研究中最基本的手段。但随着恐龙标本的大量增加及科学技术的进步,特别是现代生物学和地学研究的进展,以及研究工具和手段的改善,对恐龙研究也更加深入,分支学科也更多;尤其在最近 20~30 年,进展更为迅速,包括恐龙的系统发育和个体发生、生理学(特别关于热血恐龙的讨论)、生态学、功能形态学、骨组织学、遗迹学、埋藏学、古动物地理学和生物地层学等各个方面。对于中生代末恐龙绝灭问题,似乎大大超过了古脊椎动物学家的范围,吸引了全世界各方面的学者参与讨论这一普遍感兴趣的问题。

20 世纪初,俄国人在中国黑龙江省嘉荫县发现恐龙化石,从此揭开了中国恐龙研究的序幕。中国地域辽阔,中生代陆相盆地发育,地层连续,恐龙化石埋藏丰富,而且门类齐全;同时也发现大量恐龙蛋、恐龙足迹化石。中国是全球恐龙研究最为理想的地区之一,具有得天独厚的优越条件,吸引了全世界众多古生物学家和地质学家来中国考察、发掘和合作研究,大大促进和推动了中国恐龙研究的进展。中国恐龙在世界上占有举足轻重的地位,全球已发现大约 300 个属和 500 个种的恐龙,中国在 1992 年已描述和定名近 90 个种,包括近几年的发现,已经超过 100 个属种。

近 20 年来,中国恐龙研究异常活跃,取得了许多重要的研究成果。主要表现在:

1)组织实施多次大规模的国际合作考察、发掘、研究和恐龙化石巡回展览,发现了许多重要的化石地点和层位,研究和命名了大量恐龙动物群新属种;

2)将新技术和新方法应用于恐龙蛋的研究上,赵资奎等在对恐龙蛋形态、分类、显微结构进行研究的同时,利用先进的分析测试技术研究恐龙蛋碳、氧同位素、氨基酸组成、恐龙蛋壳的力学结构和微量、稀土元素特征,发现了南雄盆地 K/T 界线附近的恐龙蛋铱(Ir)异常,同时讨论恐龙蛋结构异常原因、孵化条件和古气候特征及 K/T 界线的恐龙绝灭问题;

3)全面系统地研究了中国恐龙足迹,研究了四川、云南、河北等省发现的恐龙足迹,甄朔南等比较全面地总结和系统命名了中国发现的恐龙足迹,共计 28 个属,35 个种;

4)注重恐龙动物群集群死亡事件和恐龙绝灭的研究,赵资奎等从恐龙蛋综合研究上解释广东南雄盆地恐龙在 K/T 界线的集群绝灭问题,夏文杰等从化石埋藏环境和地球化学特征分析四川自贡蜀龙动物群的死亡原因;汪筱林等从沉积学和化石埋藏学研究上讨论嘉荫

盆地晚白垩世恐龙动物群集群死亡事件的原因和机制;李奎等从元素地球化学的研究上提出四川广元、自贡恐龙动物群集群死亡原因;

5)开始了恐龙骨骼组织学研究,姚锦仙等通过对恐龙骨骼组织学的对比研究,了解恐龙的生理特征,进而探讨恐龙盛衰及绝灭的原因,开辟了中国恐龙研究的新领域。20世纪90年代以来,相继发现的不同时代和层位的恐龙动物群和恐龙蛋化石群,为中国恐龙研究提供了新的机遇。中国恐龙研究将会在广泛的国际合作的基础上,应用新技术、新方法、新理论,在恐龙系统分类、起源与进化、集群死亡与绝灭、化石埋藏学、古生态与古地理等领域取得进展。

四、四川盆地中生代恐龙化石研究简史和成绩

1915年,美国地质学家劳德巴克在荣县采获1枚恐龙牙齿和一段股骨化石,揭开了四川恐龙的研究历史篇章。1935~1942年,我国著名的古脊椎动物学家杨钟健教授与地质学家岳希新教授发现了荣县峨眉龙、岳氏三巴龙和甘氏四川龙等。1953~1957年,陆续发现了大量恐龙化石,主要有杨钟健鉴定和命名的马门溪龙、长寿峨眉龙与关氏嘉陵龙恐龙等,特别是1957年四川省石油地质勘探队在合川县太和镇鼓楼山发现了一具较完整的大型合川马门溪龙(现陈列于成都理工大学博物馆内)。1970~2003年成都地质学院(现成都理工大学)、自贡恐龙博物馆、重庆自然博物馆与北京自然博物馆,以及四川省石油管理局、四川地质矿产局等在发掘与研究方面做了大量的工作,发现了原始川东虚骨龙、林氏开江龙、罗泉峨眉龙、鸿鹤盐都龙、釜溪自贡龙、多棘沱江龙、甘氏四川龙、上游永川龙、四川巨棘龙、和平永川龙、氏蜀龙、广元马门溪龙、黄石板资中龙、安岳马门溪龙、龙桥永川龙、杨氏马门溪龙、石碑珙县龙及井研马门溪龙等大量恐龙化石。纵观近90年四川盆地恐龙化石的发掘与研究史,硕果累累,已发现并经鉴定命名的恐龙化石就有29个属、42个种。其中原蜥脚类1属1种、兽脚类9属17种、虚骨龙类2属2种、肉食龙类5属8种、剑龙类5属5种、鸟脚类4属5种。上述研究成果,足以表明四川盆地在中生界孕育有种类繁多的恐龙动物群。

四川盆地经鉴定命名的恐龙29个属、42个种分布于中生代不同时期的地层。回顾恐龙演化历史,四川盆地自晚三叠世至晚白垩世均有恐龙活动踪影,侏罗纪恐龙动物群无论是种属还是规模数量堪称鼎盛,尤其是中侏罗世。从恐龙动物群在四川盆地的地理分布看,在荣县、宜宾、合川、开江、威远、自贡、永川、广元、旺苍、安岳、珙县、重庆等40余个县、市发现了恐龙化石,化石点达数百个。迄今新发现的恐龙化石点尚在不断涌现,遍布盆地的各个部位。

四川侏罗纪恐龙化石极其丰富,门类非常齐全,其中蜥脚型亚目(*Sauropodomorpha*)最为丰富,分布点多、面广、保存好、属种多、个体数量大,其研究程度高,演化关系较为清楚。1999年,李奎等根据恐龙演化关系及与其共生的其他脊椎动物组合特征,将侏罗纪划分出禄丰龙动物群(*Lufengosaurus Fauna*)、珙县龙-资中龙动物群(*Gongxianosaurus-Zizhongosaurus Fauna*)、蜀龙-峨眉龙动物群(*Shunosaurus-Omeisaurus Fauna*)和马门溪龙动物群(*Mamenchisaurus Fauna*)。

显而易见,通过前人几十年的艰苦努力、不断探索,在四川盆地中生代地层和侏罗纪恐龙化石研究方面取得了许多重要的成果。在中生代地层方面,已建立了较为完善的地层系统;在恐龙动物研究方面,发现了众多的恐龙化石点,特别是像自贡大山铺这样世界罕见的恐龙化石埋藏地,在恐龙的形态学、分类以及新的恐龙种属的发现等方面取得了举世瞩目的成果,并且对恐龙化石的埋藏环境和死亡的原因进行了研究,意识到恐龙的生存与其生活环

境具有密切的关系。应当看到,随着地质科学理论与方法的迅猛发展,以及人们对于自身生活环境的日益关注,地质时期生物的生活环境的研究也愈加受到重视。因此,前人在恐龙的生活环境以及恐龙集群死亡和埋藏原因方面的研究尚显薄弱,这正是本次研究工作应该努力的方向。同时,四川盆地侏罗纪众多的恐龙化石点和前人取得的丰富成果为本次研究提供了良好的基础。

五、主要研究内容、技术路线及任务完成情况

(一) 主要研究内容

按照中国地质调查局下达任务书的要求和地质工作更加紧密地与国民经济和社会发展相结合,更加主动地为经济和社会发展服务的改革方向,以探索自侏罗纪以来四川盆地的环境和气候演化特征,预测该区未来人类生存环境与气候的变化规律,以及国家合理保护、开发利用本区珍贵的恐龙动物化石群及建设“侏罗纪公园”的需要为目标,开展了以下几项研究:

1. 四川盆地中生代恐龙动物群及其演化特征研究

在四川盆地中生代不同时期的地层中已经发掘和命名的恐龙计有 29 属、41 种,积累了丰富的资料,在充分收集各种类型的恐龙和相关脊椎动物成果资料的基础上,研究中生代恐龙及其他脊椎动物化石组合特征,划分四川盆地中生代恐龙动物群,探讨各恐龙动物群的演化规律。

2. 重要恐龙化石埋藏地地层学研究

研究在原有地层研究的基础上,对重要恐龙化石埋藏地地层岩性进行详细划分,对孢粉系统采样(含部分双壳类和遗迹化石)进行鉴定,结合已有孢粉、植物、双壳、藻类化石进行综合研究,以此恢复恐龙生活时代的古植被类型和埋藏环境。

3. 恐龙埋藏环境的研究

四川中生代恐龙化石广泛而集中分布于四川盆地侏罗纪红层之中,以前的研究中已注意并重视了对恐龙埋藏环境的沉积学和生物学研究,对恐龙的埋藏环境和埋藏类型进行了研究,应该说对恐龙的埋藏环境给予了解释。我们认为,所有的研究对于恐龙单一个体埋藏而保存为化石是合理的,但对于恐龙集中死亡、埋藏并形成化石,像自贡大山铺这样在较小范围内化石种类多、数量非常丰富,其中有不少是未成年个体的一个恐龙群体,却未能给出令人信服的答案。

事实上,任何生物包括恐龙在内的繁衍生息与其周围环境具有极为密切的联系,因此深入研究恐龙埋藏环境才能够恢复其生活的环境状况,进而探寻四川盆地中恐龙集中死亡和埋藏的原因,并且将其列为本次研究的重点。对美国上侏罗统莫里逊组大量恐龙的埋藏学及古生态学研究表明,恐龙生活环境和食物来源受强烈的季节性干湿气候的影响,植物的发育程度明显受季节控制,使得食植动物必须随季节而大规模地迁移。埋藏学是研究化石的埋藏特点和规律,需要和沉积相分析与古环境的恢复相结合。恐龙埋藏学研究包括化石的水平和垂直分布、沉积相研究和古地理重建等方面。根据本项目的任务和需要重点解决的问题,我们在实际工作中侧重于沉积环境的研究,恐龙化石分布埋藏情况充分利用前人研究成果。

沉积环境研究以岩相、生物相标志研究为基础,辅以环境地球化学研究的成果进行综合

分析研究。在上述研究的基础上,恢复恐龙埋藏(生活)时的古环境,并结合四川盆地古地理的研究成果,充实和深化这一时期的古地理研究内容。

4. 重要恐龙埋葬地分子地层及其所反映的古气候环境

分子地层学是介于沉积学、地层学、古生物学和生物学、有机化学之间的边缘学科,研究对象为沉积地层中的分子化石,即沉积物中那些来自生物遗体,具有一定沉积学、地层学和古生物学意义的有机分子,它们虽然经历了成岩作用的改造,但仍然保留了原有生物的碳骨架结构。这些有机化合物种类繁多,分子结构精细,其中蕴含着丰富而形式多样的与古植被、古生态、古气候和古环境有关的信息。通过对重要恐龙埋葬地地层中分子化石的研究,从中提取有关恐龙生活时代的古植被、古生态、古气候和古环境信息,结合对地层的沉积学、其他生物化石的研究,加深对恐龙生活环境及其环境变化的认识,以探讨恐龙集中死亡或埋藏的原因和条件。

分子地层及其所反映的古气候、古环境、古植被研究,重点放在自贡大山铺恐龙化石埋葬地,对恐龙骨骼化石及其围岩进行采样。样品在中国地质大学(武汉)地球表层系统实验室(GC-MS实验室)进行分析,重点对烃类(正构烷烃、类异戊二烯烃、萜烷、甾类化合物)进行分析研究。在分子化石研究的基础上,应用样品中分子化石的某些参数,对水体的盐度和氧化-还原条件、古植被和古气候进行研究。同时,从剖面上分子化石及其某些指标的垂向变化,探讨该地恐龙集中埋葬前后的古环境、古生态情况的变化。

5. 古气候环境的地球化学研究

(1) 泥质岩地球化学特征研究

陆相盆地中沉积岩类、动植物化石的化学成分受沉积时的古环境气候控制,不同的气候环境条件下形成的沉积岩和化石的地球化学特征有明显区别。自20世纪80年代以来,地理学家、地球化学家和环境科学家一直在研究大陆气候环境演变特征,形成以陆相湖盆沉积岩为研究对象,以常量元素、微量元素(包括稀土元素)、稳定同位素地球化学为研究手段,来反演中、新生代全球气候环境演化的研究思路,并积累了大量的资料,因此运用地球化学指标来反演古环境气候具有较好的理论基础。具有沉积环境指示意义的地球化学指标较多,如微量元素变化特征,某些特征元素的富集和亏损,有机质含量高低等,不同指标对环境气候指示意义不同,灵敏性也有区别。

在选择研究的主干剖面上进行系统的样品采集(泥岩),在恐龙埋葬层位上下加密取样,进行常量元素、微量元素和稀土元素分析,以揭示其反映的古气候环境。

岩石风化指数(CIA)也是目前利用地球化学特征分析气候环境变化最常用的参数,
$$CIA = [x(\text{Al}_2\text{O}_3) / \{x(\text{Al}_2\text{O}_3) + x(\text{CaO}) + x(\text{NaO}) + x(\text{K}_2\text{O})\}] \times 100$$
通过对主干剖面上岩石的风化指数及其垂向变化来反映这一时期的气候环境变化。

(2) 碳酸盐岩碳、氧稳定同位素研究

碳、氧稳定同位素分析常用于古环境研究,作为恢复水体的古水文条件、古生产力、古气候和沉积物成岩作用过程的一种重要手段。迄今为止,湖相碳酸盐岩碳、氧同位素分析在第四纪古湖泊学研究中得到推广。借助于碳、氧同位素之间的相关性来判断湖泊的封闭程度和水化学性质,确定古湖泊的类型。四川盆地侏罗纪地层主要为一套陆相红色碎屑岩组合,碳酸盐岩仅见于下侏罗统自流井组中、上部的东岳庙段,大安寨段中有少量分布(其岩性以介壳灰岩为主,另见有少量的白云岩),另外在中-上侏罗统沙溪庙组见碳酸盐岩质双壳类化

石和钙质结核。有关四川盆地早侏罗世湖泊环境等问题已从沉积学及古生物学等方面进行了一些研究,但有关湖相碳酸盐岩的碳、氧同位素组分特征及其相关的古湖泊学意义的研究尚属首次。

显而易见,上述研究均紧密结合恐龙的生活环境进行,始终贯穿对恐龙的古生态、古环境和埋藏学的研究。古生态、古环境和埋藏学就其研究内容和目的来看,既有其各自不同的研究内容,同时又是密切相关、相互交叉渗透的学科。研究从上述具体的研究内容出发,来实现对恐龙生物时期的古生态、古环境和埋藏学的研究目标。

(二) 研究技术路线、方法与工作流程

本着追踪学科前沿,并且以地层学、沉积学、环境地球化学、分子地层学多学科研究方法相结合,进行综合研究,探索恐龙生存和埋藏古环境的思路开展工作。

在工作中以野外调查与分析测试相结合、前人资料成果与综合研究相结合,加强与科研和教学单位的联系和合作,在对重要恐龙埋藏地剖面的地层学、沉积学的详细研究的基础上,结合古生物化石、分子地层学和环境地球化学的研究,探讨恐龙集中死亡和埋藏的原因,恢复晚三叠世—白垩纪(重点侏罗纪)恐龙的生存环境(图 1)。

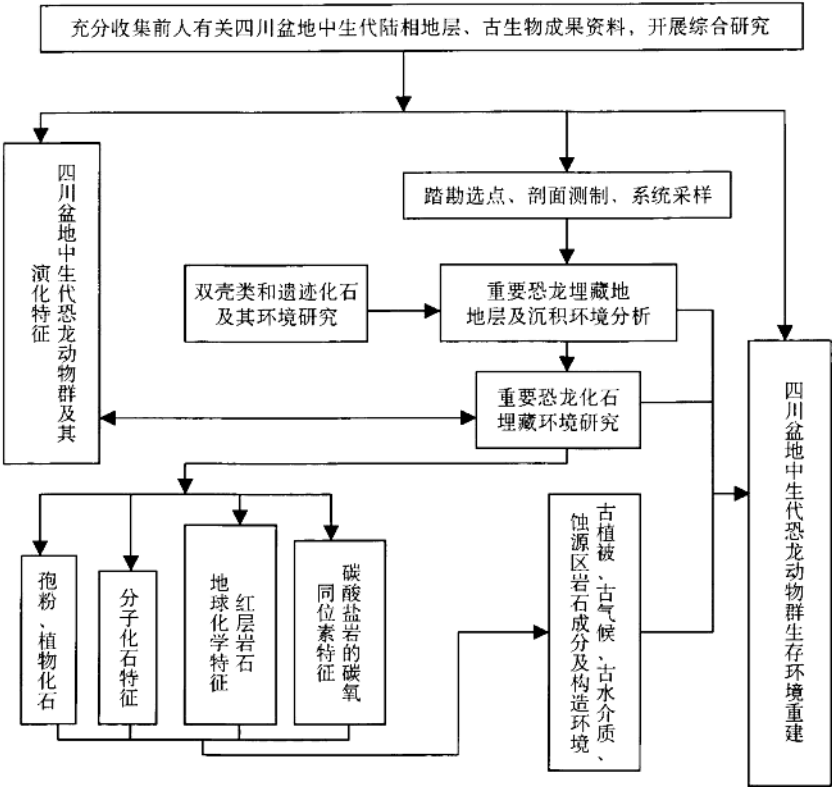


图 1 研究思路、技术路线、方法与工作流程图

本书以四川盆地侏罗纪重要恐龙化石埋藏地为研究对象,首先在四川盆地分布众多的恐龙化石埋藏地中确定出重要恐龙埋藏研究工作;第一层次的工作是选择自贡荣县度佳-大坪、自贡荣县新店子、安岳隆家崖、广元旺苍河西、资阳伍隍及伍马、天全县沙坪、简阳县三星

镇、重庆市黔江区正阳盆地与合川马门溪大足县万古镇等恐龙埋藏地进行广泛的路线地质踏勘调查;第二层次是对安岳马蹄寺、乐山五通桥、广元元坝、自贡伍家坝、自贡大山铺、珙县石碑龙山等地的自流井组、新田沟组、沙溪庙组、遂宁组和蓬莱镇组进行恐龙埋藏地地层学、沉积学、古生态学对比研究;第三层次是开展珙县石碑龙山、自贡大山铺、广元元坝及安岳马蹄寺等4处重点恐龙埋藏地剖面进行研究,着重解决恐龙埋藏层位岩相和环境地球化学参数问题。

研究工作由四川省地质调查院组织承担,西南科技大学和成都理工大学参加。在前人研究的基础上,通过大量的野外调研、各类样品分析测试(表1),取得了以下新的主要成果:

表 1 完成工作量表

项 目	技术指标	单 位	完成工作量
地质踏勘调查路线		km	34
1:2000 地层剖面		km	6.1
1:200 岩相-地化剖面		m	1120
岩矿薄片鉴定		件	132
粒度分析样		件	80(分析 31)
主量元素分析	SiO ₂ 、TiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃ 、FeO、MnO、MgO、CaO、Na ₂ O、K ₂ O、P ₂ O ₅ 、CO ₂ 、烧失量 13 项	件	70(分析 66)
微量元素分析	Cu、Pb、Zn、Fe、Ba、Sr、Co、Cr、Cd、Cs、Hf、Ni、Rb、Th、As、Ca、Na、Ta、U、Mg、Mn、稀土元素(15 项)	件	70(分析 66)
激光原位探针分析(恐龙骨骼)	LA-ICP-MS	点	12
大化石	双壳、植物化石	件	41
孢粉化石		件	87(分析 74)
分子化石样品	中国地质大学 GC-MS 对烃类(正构烷烃、类异戊二烯烃、藜烷、甾类化合物)进行分析	件	14
碳、氧同位素		件	48(分析 34)

1)在全面总结分析四川盆地恐龙动物群特点和演化规律的基础上,将四川盆地恐龙动物群从晚三叠世至晚白垩世重新划分为禄丰龙动物群、珙县龙-资中龙动物群、蜀龙-峨眉龙动物群、马门溪龙动物群、驰龙动物群和巨龙-鸭嘴龙动物群等6大动物群。

2)在天全城北上三叠统须家河组中新发现小型肉食恐龙——虚骨龙的足迹化石,这是目前四川盆地发现的最老的恐龙足迹化石。

3)通过四川盆地重要恐龙化石产地的埋藏学、沉积学、古生态学、岩石地球化学、分子地层学、碳氧同位素地球化学等多种方法手段的深入研究,首次系统重建了各时期恐龙动物群的古地理、古气候、古环境。

4)探讨了四川盆地从晚三叠世至晚白垩世古地理、古气候、古环境的变化与恐龙兴衰的关系,分析了恐龙集中死亡和埋葬的原因。

本书编写人员分工:绪论和结语由王全伟编写。其余各章节的分工为:第一章由王全伟、阚泽忠、纪相田编写,第二章由李奎编写,第三章由纪相田、朱兵、梁斌、阚泽忠编写,第四章由梁斌、朱兵、阚泽忠编写,第五章由阚泽忠、王全伟编写,第六、七、八章由梁斌编写,第九

章由王全伟编写。全书由王全伟总纂和修改定稿。参加项目野外工作还有喻成燕工程师等。

四川盆地中生代恐龙动物群研究项目是在中国地质调查局领导和四川省地质调查院支持下完成的。在工作中得到了中国地质调查局刘凤山研究员、中国地质大学(北京)万晓樵教授、四川地矿局的领导与原局总工程师骆耀南教授以及自贡恐龙博物馆的领导给予的指导,四川省地质调查院岳昌桐院长、刘啸虎教授级高工、胡世华教授级高工、曾宜君教授级高工、陈德友教授级高工、鄯毅教授级高工,四川地矿局川西北地质队杨恒书教授级高工,重庆市地勘局吴富强博士、邓富银教授级高工、吴时兴高级工程师,渝州大学王长生教授提供了大力帮助。参加本书原稿报告评审的中国地质科学院尹崇玉研究员、邢裕盛研究员、耿元生研究员、王思恩研究员、北京大学郝维成教授、中国地质调查局韦延光博士等提出了修改完善意见。配合本书开展测试分析工作的单位有:中国地质大学(武汉)、武汉岩矿测试中心、成都地质矿产研究所、成都理工大学等。在此一并表示感谢!

目 录

前 言

第一章 四川盆地地质背景	(1)
第一节 四川盆地中生代陆相地层	(1)
一、四川盆地中生代陆相地层发育特征	(1)
二、岩石地层	(1)
三、生物面貌及生物地层	(13)
四、年代地层	(19)
第二节 区域构造背景	(20)
一、四川盆地构造格架	(20)
二、构造演化对四川中生代陆相盆地的控制	(21)
第二章 四川盆地中生代恐龙动物群及其演化特征	(24)
第一节 四川盆地中生代恐龙及其他脊椎动物化石组合	(25)
一、四川盆地晚三叠世恐龙及其他脊椎动物化石组合	(25)
二、四川盆地侏罗纪恐龙及其他脊椎动物化石组合	(26)
三、白垩纪恐龙及其他脊椎动物化石组合	(32)
第二节 四川盆地中生代恐龙动物群及其演化	(32)
一、动物群的组成	(32)
二、动物群的特点	(36)
三、四川盆地中生代恐龙动物群的演化	(37)
第三节 四川晚侏罗世恐龙动物群与北美、东非和欧洲的对比	(40)
第三章 重要恐龙化石埋藏地地层学及沉积环境分析	(42)
第一节 重要恐龙化石埋藏地地层及沉积相分析	(42)
一、天全县青石乡须家河组	(42)
二、珙县石碑乡下侏罗统自流井组	(45)
三、自贡高硐桥中侏罗统沙溪庙组下段	(48)
四、广元市河西乡中侏罗统沙溪庙组上段	(51)
五、安岳县马蹄寺上侏罗统遂宁组-蓬莱镇组	(57)
第二节 遗迹化石及其古环境意义	(60)
一、天全晚三叠世须家河组中的恐龙足迹化石	(60)
二、安岳马蹄寺遂宁组-蓬莱镇组中的遗迹化石	(61)
三、广元河西恐龙化石埋藏地沙溪庙组上段中的遗迹化石	(63)

第四章 恐龙化石的埋藏环境及集中埋藏原因讨论	(64)
第一节 珙县石碑县龙-资中龙动物群恐龙化石埋藏地	(65)
一、恐龙化石的埋藏特征	(65)
二、埋藏环境及集中埋藏原因分析	(65)
第二节 重庆同兴珙县龙-资中龙动物群恐龙化石埋藏地	(67)
一、恐龙化石的埋藏特征	(67)
二、埋藏环境及埋藏原因分析	(67)
第三节 自贡大山铺蜀龙-峨眉龙动物群恐龙化石埋藏地	(69)
一、恐龙化石的埋藏特征	(69)
二、埋藏环境分析	(69)
三、恐龙集中埋藏原因的讨论	(72)
第四节 广元河西马门溪龙动物群恐龙化石埋藏地	(74)
一、恐龙化石的埋藏特征	(74)
二、埋藏环境及埋藏原因分析	(74)
第五节 安岳马蹄寺马门溪龙动物群恐龙化石埋藏地	(77)
一、恐龙化石的埋藏特征	(77)
二、埋藏环境及埋藏原因分析	(77)
第六节 简阳三星驰龙动物群恐龙化石埋藏地	(78)
一、恐龙化石的埋藏特征	(78)
二、埋藏环境及埋藏原因分析	(78)
第七节 黔江正阳巨龙-鸭嘴龙动物群恐龙化石埋藏地	(79)
一、恐龙化石的埋藏特征	(79)
二、埋藏环境及埋藏原因分析	(80)
第五章 孢粉、植物化石组合特征及对古植被、古气候环境的指示	(83)
第一节 孢粉组合及反映的古植被、古气候环境	(83)
一、晚三叠世孢粉组合及反映的古植被、古气候环境	(95)
二、侏罗纪孢粉组合及反映的古植被、古气候环境	(96)
三、白垩纪孢粉组合及所反映的古植被、古气候环境	(100)
第二节 植物化石组合及所反映的古植被、古气候环境	(101)
一、晚三叠世植物化石组合及所反映的古植被、古气候环境	(101)
二、侏罗纪植物化石组合及所反映的古植被、古气候环境	(102)
第六章 恐龙化石埋藏地分子化石特征及其古环境意义	(106)
第一节 材料与方法	(106)
第二节 分子化石特征	(107)
一、氯仿沥青“A”	(107)
二、正构烷烃	(108)
三、萜烷	(110)
四、甾烷	(111)

第三节 分子化石的古环境意义	(112)
一、氧化-还原条件和盐度	(113)
二、古植物特征	(113)
第四节 结论	(114)
第七章 侏罗纪红层的地球化学特征及其古气候意义	(116)
第一节 珙县恐龙化石埋藏地下侏罗统自流井组的地球化学特征	(116)
一、地质特征及样品的采集	(116)
二、分析结果	(117)
三、讨论	(120)
第二节 自贡恐龙化石埋藏地中侏罗统沙溪庙组下段的地球化学特征	(121)
一、地质特征及样品的采集	(121)
二、分析结果	(121)
三、讨论	(124)
第三节 广元恐龙化石埋藏地中侏罗统沙溪庙组上段的地球化学特征	(125)
一、地质特征及样品的采集	(125)
二、分析结果	(125)
三、讨论	(128)
第四节 安岳恐龙化石埋藏地上侏罗统遂宁组的地球化学特征	(130)
一、地质特征及样品的采集	(130)
二、分析结果	(130)
三、讨论	(133)
第五节 岩石地球化学指标对古气候环境的指示	(133)
一、自流井组源区的古风化作用及对早侏罗世古气候特征的指示	(134)
二、沙溪庙组源区的古风化作用及对中侏罗世古气候特征的指示	(135)
三、遂宁组源区的古风化作用及对晚侏罗世古气候特征的指示	(135)
四、结论	(136)
第八章 碳酸盐岩的碳、氧同位素特征及其古环境意义	(137)
第一节 下侏罗统自流井组湖相碳酸盐岩的碳、氧同位素特征	(137)
一、地质背景及样品的采集	(137)
二、碳、氧同位素的组分特征	(138)
三、古湖泊学意义	(139)
四、结论	(142)
第二节 沙溪庙组双壳化石的碳、氧同位素特征	(143)
一、地质特征及样品的采集	(143)
二、双壳化石的碳、氧同位素特征	(144)
三、双壳化石碳、氧同位素的古环境意义	(144)
第三节 沙溪庙组钙质结核的碳、氧同位素特征	(146)
一、地质背景及样品的采集	(147)

二、结果与讨论	(148)
三、结论	(150)
第九章 四川盆地中生代恐龙动物群生存环境重建	(152)
第一节 禄丰龙动物群的生存环境	(153)
一、古地理环境	(153)
二、古植被、气候与水介质	(154)
三、禄丰龙动物群的生存环境	(155)
第二节 珙县龙-资中龙动物群的生存环境	(156)
一、古地理环境	(156)
二、古植被、气候、温度、水介质、蚀源区物质	(157)
三、珙县龙-资中龙动物群的生存环境	(159)
第三节 蜀龙-峨眉龙动物群的生存环境	(160)
一、古地理环境	(160)
二、古植被、气候、水介质、蚀源区环境	(162)
三、蜀龙-峨眉龙动物群的生存环境	(163)
第四节 马门溪龙动物群的生存环境	(164)
一、古地理环境	(164)
二、古植被、气候、水介质、蚀源区物质	(165)
三、马门溪龙动物群生存环境	(168)
第五节 驰龙动物群的生存环境	(169)
一、古地理环境	(169)
二、古植被、气候、水介质和环境	(170)
三、驰龙动物群生存环境	(171)
第六节 巨龙-鸭嘴龙动物群的生存环境	(171)
一、古地理环境	(171)
二、古气候、植被、水介质和环境	(172)
三、巨龙-鸭嘴龙动物群生存环境	(173)
结语	(175)
主要参考文献及参考资料	(179)
英文摘要	(185)
图版及说明	

CONTENTS

Introduction

Chapter I Geological Setting of Sichuan Basin	(1)
Section 1 Mesozoic continental-facies stratigraphy of Sichuan Basin	(1)
1. Mesozoic continental-facies stratigraphy	(1)
2. Lithostratigraphy	(1)
3. Paleontology and biostratigraphy	(13)
4. Chronostratigraphy	(19)
Section 2 Regional tectonic Setting	(20)
1. A tectonic framework of Sichuan Basin	(20)
2. Control of tectonic evolution on Sichuan Mesozoic Continental basin	(21)
Chapter II Mesozoic Dinosaurs Fauna and Its Evolution in Sichuan Basin	(24)
Section 1 Mesozoic dinosaurs and vertebrate fossil assemblage in Sichuan Basin ...	(25)
1. Late Triassic dinosaurs and vertebrate fossil assemblage in Sichuan Basin	(25)
2. Jurassic dinosaurs and vertebrate fossil assemblage in Sichuan Basin	(26)
3. Cretaceous dinosaurs and vertebrate fossil assemblage in Sichuan Basin	(32)
Section 2 Mesozoic dinosaurs fauna and its evolution in Sichuan Basin	(32)
1. Components of fauna	(32)
2. Characteristics of fauna	(36)
3. Au evolution of Mesozoic dinosaurs fauna in Sichuan Basin	(37)
Section 3 Comparison of Late Jurassic dinosaurs fauna in Sichuan Basin to thats in Northern America, Eastern Africa and Europe	(40)
Chapter III Stratigraphy and Sedimentary Environment of Major Dinosaurs Buried Sites	(42)
Section 1 Stratigraphy and sedimentary facies of major dinosaurs buried sites	(42)
1. Late Triassic Xujiawe Formation at Qingshixiang village, Tianquan County	(42)
2. Lower Jurassic Ziliujing Formation at Shibeixiang village, Gongxian County	(45)
3. Middle Jurassic upper Member of Shaximiao Formation at Gaotongqiao, Zigong City	(48)
4. Middle Jurassic upper member of Shaximiao Formation at Hexixiang Village, Guangyuan County	(51)
5. Upper Jurassic Suining and Penglaizhen Formations at Matisi, Anyue County	(57)
Section 2 Trace fossils and its paleoenvironment implication	(60)

1. Dinosaurs footmark in late Triassic Xujiahe Formation, Tianquan County	(60)
2. Trace fossils in Suining and Penglaizhen Formations at Matisi, Anyue County	(61)
3. Trace fossils in Upper Member of Shaximiao Formation in Hexi, Guanyuan County	(63)
Chapter IV Discussion on Buried Environment and Mass Buried Cause for Dinosaurs fossil	(64)
Section 1 A buried Site of Gongxianosaurus—Zizhongosaurus fauna at Shibei, Gongxian County	(65)
1. Buried feature	(65)
2. Buried environment and mass buried cause	(65)
Section 2 A buried Site of Gongxianosaurus—Zizhongosaurus fauna at Tongxing, Chongqing City	(67)
1. Buried feature	(67)
2. Buried environment and buried cause	(67)
Section 3 A buried Site of Shunosaurus—Omeisaurus fauna at Dashanpu, Zigong City	(69)
1. Buried feature	(69)
2. Buried environment	(69)
3. Mass buried cause	(72)
Section 4 A buried Site of Mamenchisaurus fauna at Hexi, Guangyuan County ...	(74)
1. Buried feature	(74)
2. Buried environment and buried cause	(74)
Section 5 A buried Site of Mamenchisaurus fauna at Matisi, Anyue County	(77)
1. Buried feature	(77)
2. Buried environment and buried cause	(77)
Section 6 A buried Site of Dromaeosauridae fauna at Sanxing, Jianyang County	(78)
1. Buried feature	(78)
2. Buried environment and buried Cause	(78)
Section 7 A buried Site of Titanosauridae—Hadrosauridae fauna at Zhengyang, Qianjiang County	(79)
1. Buried feature	(79)
2. Buried environment and buried cause	(80)
Chapter V Sporopollen and Plant fossil Assemblages, and Indicated Paleovegetation and Paleoclimate	(83)
Section 1 Sporopollen assemblage and indicated paleovegetation and paleoclimate	(83)
1. Late Triassic sporopollen assemblage and indicated paleovegetation and paleoclimate	(95)
2. Jurassic sporopollen assemblage and indicated paleovegetation and paleoclimate	(96)
3. Cretaceous sporopollen assemblage and indicated paleovegetation and paleoclimate ...	(100)