

辽宁锦州古生物化石和花岗岩国家地质公园 地质遗迹特征及其地质背景

张立军¹⁾, 姬书安²⁾, 王磊³⁾, 王梦易³⁾

1) 海南热带海洋学院, 海南三亚 572022; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

3) 锦州古生物化石和花岗岩国家地质公园管理站, 辽宁锦州 121000

摘要: 本文在系统收集、整理阜新一义县盆地和医巫闾山地区的地质学、古生物学、地貌学和年代地质学资料的基础上, 对辽宁锦州古生物化石和花岗岩国家地质公园的地质遗迹景观资源进行了系统总结。进一步的研究揭示了阜新一义县盆地和医巫闾山同属于医巫闾山变质核杂岩系统, 阜新一义县盆地的发育、热河生物群兴起与医巫闾山的形成密切相关。这一结论为整合地质遗迹资源, 整体规划建设锦州国家地质公园, 打造地质旅游品牌提供了科学支撑, 同时也为将来申报世界地质公园提供了基础地质学理论依据。

关键词: 锦州; 古生物化石; 花岗岩; 国家地质公园; 地质遗迹; 地质背景

中图分类号: P52; P535 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2021.022301

Geoheritage and Geological Background of Jinzhou Fossil and Granite National Geopark in Western Liaoning Province

ZHANG Li-jun¹⁾, JI Shu-an²⁾, WANG Lei³⁾, WANG Meng-yi³⁾

1) Hainan Tropical Ocean University, Sanya, Hainan 572022;

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

3) Jinzhou Fossil and Granite National Geopark Protection Station, Jinzhou, Liaoning 121000

Abstract: Based on a comprehensive analysis of the geological, paleontological, geomorphological and geochronological data of the Fuxin-Yixian Basin and Yiwulü Mountain area in western Liaoning Province, this paper summarizes the geoheritage landscape resources of the Jinzhou Fossil and Granite National Geopark. A further research reveals that the Fuxin-Yixian Basin and the Yiwulü Mountain belong to the Yiwulüshan metamorphic core complex, suggesting that the development of the Fuxin-Yixian Basin and rise of the Jehol Biota were closely related to the formation of the Yiwulü Mountain in the Cretaceous. This conclusion undoubtedly provides scientific support for the integration of geoheritage resources, the overall planning and building of the Jinzhou National Geopark, and the creation of a geotourism brand. It also provides foundation for the future application for UNESCO Global Geopark.

Key words: Jinzhou; fossils; granite; national geopark; geoheritage; geological background

我国以国家公园为主体的自然保护地体系中, 国家地质公园属于自然公园类, 称国家地质自然公园, 是指以具有国家级特殊地质科学意义、较高的美学观赏价值的地质遗迹为主体, 并融合其它自然景观与人文景观而构成的一种独特的自然区域, 作为保护地的一种类型实施管理。其设立的主要目的是保护珍贵的地质遗迹, 并在保护的前提下合理开

发利用(国土资源部地质环境司, 2016)。地质遗迹资源类型多样, 但无论是哪种类型的地质遗迹都是长期地质作用的产物, 反映了与之息息相关的地质背景, 对其地质背景进行研究, 是建立地质公园的基础(赵逊和赵汀, 2003)。

2014年1月9日, 辽宁锦州古生物化石和花岗岩国家地质公园被国土资源部授予国家地质公园资

本文由海南热带海洋学院引进人才科研启动基金项目(编号: RHDRC202008)资助。

收稿日期: 2021-01-07; 改回日期: 2021-02-08; 网络日期: 2021-02-26。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 张立军, 男, 1965年生。博士, 研究员。主要从事地层学与古生物学研究工作。E-mail: syzlj@126.com。

格,成为国土资源部 2014 年批准建立的第七批国家地质公园之一,并于 2019 年 9 月通过国家林业和草原局组织的验收,正式成为国家地质公园。公园位于辽宁省西南部,锦州市北部,地跨义县和北镇,总面积 102.45 km²,分为义县古生物化石园区和北镇医巫闾山园区,主要地质遗迹为古生物化石遗迹和花岗岩地貌景观(图 1)。由于申报地质公园时相关地质背景的研究程度不高,两个园区地质遗迹景观差异明显、距离相对较远,人们往往认为不是一个地质公园。殊不知义县古生物园区所在的阜新一义县盆地和医巫闾山园区所在的医巫闾山同属于医巫闾山变质核杂岩系统,它们在地质成因上关系密切,盆地的沉降和山体的隆升伴随着热河生物群的出现和发展,又由于持续的火山活动,动植物被周期性埋藏于湖泊中,形成了今天的化石群……所以说,两个园区具有相同的地质背景。此外,虽然我国国

家地质公园把独立园区限定在 2 个,但联合国教科文组织世界地质公园的标准明确规定一个地质公园必须是单一的、统一的地理区域(张建平,2020)。本文将深入揭示锦州古生物化石和花岗岩国家地质公园的地质背景,为地方政府整合地质遗迹资源,整体规划建设锦州国家地质公园,打造地质旅游品牌提供科学支撑,同时也为将来申报世界地质公园提供理论依据。

1 地质遗迹分类

公园内的地质遗迹景观以古生物化石遗迹和花岗岩地貌景观为主,同时保留有标准地层剖面、地貌景观、山体崩塌、水体景观等遗迹。按照《国家地质公园规划编制技术要求(国土资发〔2010〕89 号)》,公园内的地质遗迹类型可以划分为 6 大类 13 类 14 亚类(中国地质环境监测院,2013),见表 1。

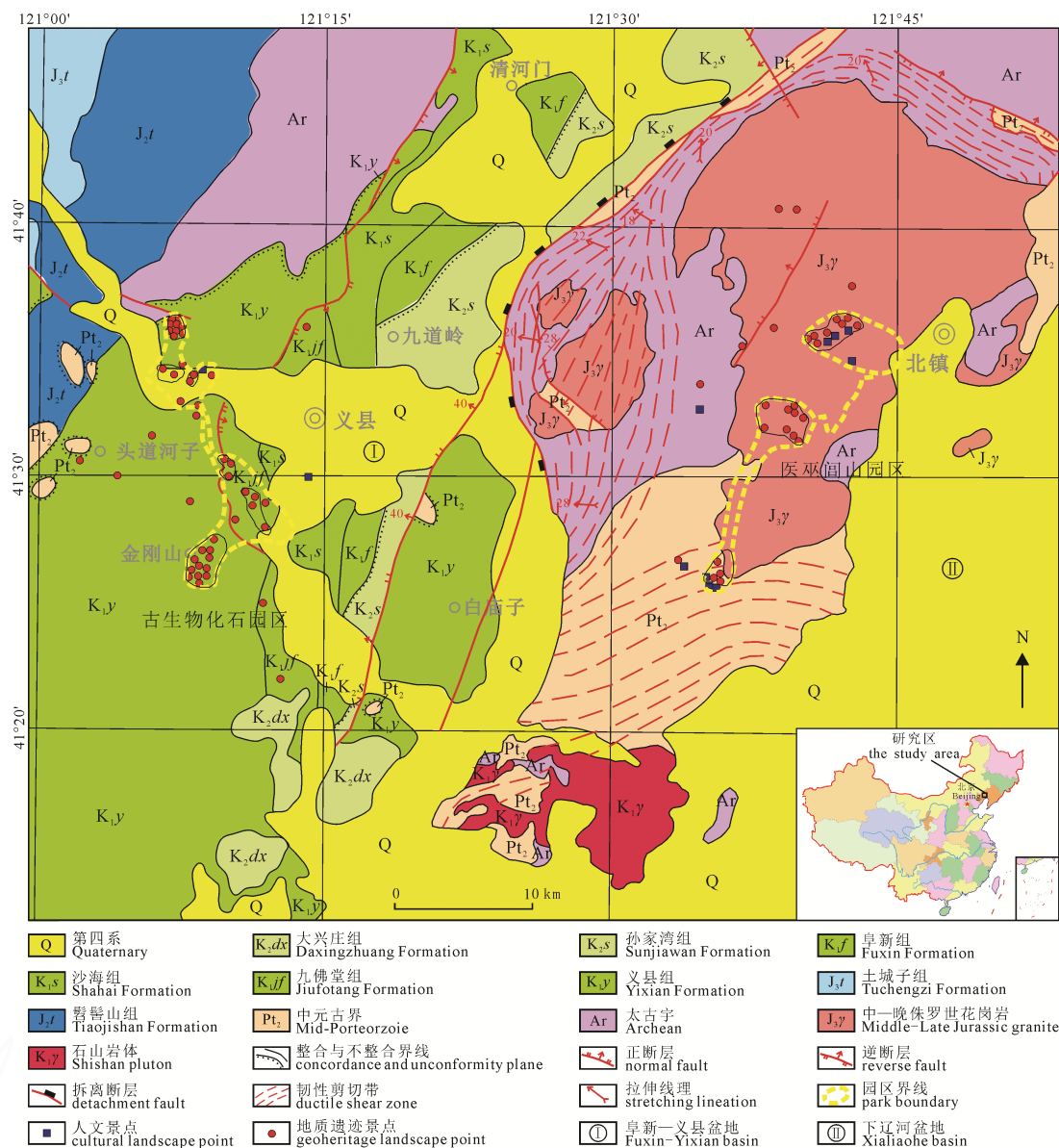


图 1 园区分布和构造纲要图(据辽宁省地质勘察院, 2017 修改)

Fig. 1 Geopark distribution and simplified structural map (modified after Liaoning Institute of Geological Exploration, 2017)

表 1 公园地质遗迹景观类型一览
Table 1 List of types of geoheritages in the geopark

大类	类	亚类	主要景点	景点数量	等级
地质剖面	地层剖面	区域性标准地层剖面	下白垩统义县组标准地层剖面	1	国家级
地质构造	构造形迹	中小型构造	层状节理等		省级
古生物	古动物	古无脊椎动物	东方叶肢介、丽昼蜓、辽蝉等		省级
		古脊椎动物	反鸟类胚胎、翼龙胚胎、潜龙胚胎、义县薄氏龙、长掌义县龙、中华神州鸟、葛氏义县鸟等	20	世界级
	古植物	古植物	无梗银杏、拟木贼、木化石等		国家级
地貌景观	岩石地貌景观	花岗岩地貌景观	花岗岩峰丛、变质核杂岩侵入岩脉 石峰、石棒、石蛋、一线天、花岗岩洞穴等	20	国家级 省级
	火山地貌景观	火山碎屑堆积地貌景观	火山角砾岩	1	省级
	流水地貌景观	流水侵蚀地貌景观	二级阶地	3	地市级
		流水堆积地貌景观	河心岛	1	省级
	构造地貌景观	构造地貌景观	断层山、断层谷、青岩断层等	5	省级
水体景观	湖沼景观	沼泽湿地景观	新立湿地	1	地市级
	河流景观	风景河段	大浪河	1	省级
	瀑布景观	瀑布景观	大石湖瀑布、石棚飞瀑	2	省级
环境地质 遗迹景观	地质灾害 遗迹景观	山体崩塌遗迹景观	花岗岩崩塌堆积体	5	省级

2 主要地质遗迹资源

2.1 地层剖面

下白垩统义县组标准地层剖面部分位于义县古生物园区, 剖面始于义县马神庙, 经尖山子—砖城子—289 高地—三百垄—朱家沟—349 高地—270 高地, 结束于宋八户南公路桥下。剖面起点地理坐标 $N41^{\circ}29'19''$, $E121^{\circ}00'19''$; 终点地理坐标 $N41^{\circ}28'01''$, $E121^{\circ}10'33''$ 。剖面控制厚度大于 2890 m, 总体上是一套巨厚的、基性-中基性-中性-中酸性陆相喷发的火山岩系; 在火山喷发的间歇期, 形成了 6 个规模不等的河湖相沉积夹层。该剖面的义县组代表了早白垩世火山-沉积岩系实体。在这一标准剖面上, 义县组与下伏上侏罗统髫髻山组三段以酸性火山岩为主的火山岩系呈超覆不整合接触; 其上被以河湖相沉积为主的九佛堂组沉积岩系整合覆盖。6 个沉积夹层中, 自上而下有 5 个含化石沉积层, 即金刚山层、大康堡层、砖城子层、业南沟层和老公沟层。由于含化石层位多、剖面研究程度高, 成为辽西乃至我国早白垩世陆相地层的对比标准(王五力等, 2004; 张立军, 2013; Zheng et al., 2021)。

2.2 古生物

义县古生物园区是举世瞩目的晚中生代热河生物群发育的经典地区之一, 古生物化石具有类型多、数量多、赋存层位多和化石产地多的特点。相继发现的古生物化石已鉴定出 15 个门类上百个属种, 包括鸟类、恐龙、翼龙、龟类、有鳞类、离龙类、两栖类、鱼类、双壳类、腹足类、介形类、虾类、蜘蛛、昆虫和植物(包括木化石)等门类化石。

其主要赋存层位除下白垩统义县组的 5 个含化石层位外, 还包括其上覆下白垩统九佛堂组中部的团山子层和上部的皮家沟层(Zhang et al., 2007)。

各化石层位的主要出露地点(化石点)以及重要化石名单总结如下:

九佛堂组皮家沟层主要出露于义县头道河乡皮家沟, 还包括义县前杨乡西二虎桥、吴家屯等地。产出的重要化石包括: 鸟类 3 个属种: 基于鸟类孔子鸟目的圣贤孔子鸟(*Confuciusornis sanctus*)(侯连海等, 2002; Wang et al., 2019), 今鸟型类的葛氏义县鸟(*Yixianornis grabau*)和马氏燕鸟(*Yanornis martini*)(周忠和和张福成, 2001)(图版 I-A, B); 恐龙 2 个属种: 蜥臀目兽脚亚目驰龙类的赵氏小盗龙(*Microraptor zhaoianus*)(Xu et al., 2000), 窃蛋龙类的义县似尾羽龙(*Similicaudipteryx yixianensis*)(He et al., 2008); 翼龙类; 离龙类 2 个属种: 大型离龙类的皮家沟伊克昭龙(*Ikechosaurus pijagouensis*)(Liu, 2004), 潜龙未定种(*Hyphalosaurus* sp.); 龟类; 鱼类; 介形类和植物化石。

九佛堂组团山子层主要出露于义县七里河子镇团山子, 目前只发现离龙类、龟类等。

义县组金刚山层出露于义县大定堡乡的金刚山和枣茨山, 在辽西地区也仅限于此地, 产出了义县组上部的唯一化石群: 反鸟类胚胎(*Enantiornithine embryo*)(Zhou and Zhang, 2004)(图版 I-C); 翼龙 4 个属种: 翼手龙类鸟掌龙科的翼龙胚胎(*Pterosaur egg with embryo*)(Wang and Zhou, 2004; Ji et al., 2004)(图版 I-D, E), *Lonchodectidae* 科的金剛山义县翼龙(*Yixianopterus jingangshanensis*)。

sis)(Lü et al., 2006)(图版 I-F), 高卢翼龙科的金刚山剑头翼龙(*Gladocephaloideus jingangshanensis*)(Lü et al., 2012); 龟类的满洲满洲龟(*Manchurochelys manchoukuoensis*)和蜥蜴类的细小矢部龙(*Yabeinosaurus tenuis*)(Endo and Shikama, 1942); 离龙类的楔齿满洲鳄(*Monjurosuchus splendens*)(Endo, 1940); 鱼类的室井氏狼鳍鱼(*Lycoptera muroii*)(Takai, 1943)及昆虫、叶肢介、介形类、植物等。

义县组大康堡层出露于义县头道河乡王家沟、头台乡破台子、王油匠沟、白台沟、河夹心、四方台、何家沟荒地等。产出化石包括鸟类 4 个属种: 基于鸟类热河鸟目的中华神州鸟(*Shenzhouraptor sinensis*)(季强等, 2002)(图版 I-G)、朝阳会鸟(*Sapeornis chaoyangensis*)(Yuan, 2008; Gao et al., 2012), 反鸟类的韩氏长嘴鸟(*Longirostravis hani*)(Hou et al., 2004), 王旭日等(2013)报道的该层位今鸟类的国章燕鸟(*Yanornis guozhangii*)被认为是马氏燕鸟的同物异名(Wang et al., 2020), 层位亦存疑; 恐龙 5 个属种: 蜥臀目兽脚亚目驰龙类的郝氏中国鸟龙(*Sinornithosaurus haoiana*)(刘金远等, 2004), 尾羽龙类的干戚邢天龙(*Xingtianosaurus ganqi*)(Qiu et al., 2019), 分类位置不明的长掌义县龙(*Yixianosaurus longimanus*)(Xu and Wang, 2003)(图版 I-H), 鸟臀目鸟脚亚目禽龙类的杨氏锦州龙(*Jinzhouosaurus yangi*)(汪筱林和徐星, 2001)、义县薄氏龙(*Bolong yixianensis*)(吴文昊等, 2010), 角龙类的鹦鹉嘴龙未定种(*Psittacosaurus* sp.), 甲龙类的奇异辽宁龙(*Liaoningosaurus paradoxus*)(Xu et al., 2001); 翼龙类 2 个属种: 翼手龙类北方翼龙科的崔氏北方翼龙(*Boreopterus cui*)(Lü and Ji, 2005), 帆翼龙科的中国帆翼龙(*Istiodactylus sinensis*)(Andres and Ji, 2006); 龟类的辽西鄂尔多斯龟(*Ordosemys liaoxiensis*)(Tong et al., 2004); 离龙类的白台沟潜龙(*Hyphalosaurus baitaigouensis*)(季强等, 2004)(图版 I-I); 无尾两栖类的细弱宜州蟾(*Yizhoubatrachus macilentus*)(Gao and Chen, 2004)(图版 I-J); 虾类及昆虫、叶肢介和硅化木等。

义县组砖城子层出露于义县头道河乡西砖城子、金家沟、英窝山北沟、英窝山南山坡等地, 发现有鸟羽毛, 蜥蜴类的赵氏翔龙(*Xianglong zhaoi*)(Li et al., 2007)(图版 I-K), 植物化石无梗银杏(*Ginkgo apodes*)(Zhou and Zheng, 2003)等以及昆虫、叶肢介、介形类等。

义县组业南沟层主要出露于义县头道河乡腰底家沟业南沟, 发现有鹦鹉嘴龙、狼鳍鱼、昆虫、叶肢介及植物等。

义县组老公沟层主要出露于义县头道河乡老虎沟、三道壕等地, 仅发现角龙类的鹦鹉嘴龙、狼鳍鱼等。

综上, 截至 2020 年, 义县古生物园区已发现的早白垩世热河生物群脊椎动物化石包括鸟类 7 属 7 种、恐龙 9 属 9 种、翼龙 5 属 5 种、龟类 2 属 2 种、离龙类 3 属 3 种、蜥蜴类 2 属 2 种、无尾两栖类 1 属 1 种, 总计 29 个属种, 其中 27 种为义县古生物园区首现或特有化石物种(如室井氏狼鳍鱼)。这些化石极大地丰富了热河生物群, 并对研究鸟类起源与早期分异、证明翼龙的卵生性、早期鸟类的早成性、潜龙的卵胎生以及热河生物群的发生、辐射与发展及时代确定具有重大的科学价值。此外, 无梗银杏的发现还填补了银杏演化的空白。

义县古生物园区木化石集中产出在义县城关乡邵家村下石洞沟沙海组砂砾岩中, 包括迄今辽西最大的木化石, 堪称辽西“木化石王”(图版 I-L), 已经鉴定的木化石有河北异木(*Xenoxylon hopeiense*)、紫杉型木未定种(*Taxoxylon* sp.)、雪松型木(*Cedroxylon* sp.)、秀沃德圆孔木(*Circoporoxylon sewardi*)、义县异木(*Xenoxylon yixianense*)、中国银杏木(*Ginkgoxylon chinense*)、辽宁原始云杉型木(*Protosciadopityoxylon liaoningense*)、原始云杉型木未定种(*Protopiceoxylon* sp.)等(张武等, 2006)。

2.3 地貌景观

2.3.1 花岗岩地貌景观

(1) 花岗岩峰林

医巫闾山园区二长花岗岩峰林在北镇龙岗、大观音阁、大朝阳等地都有典型分布, 是由二长花岗岩受到侵蚀、剥蚀等风化作用而形成的。当花岗岩出露地表并处于强烈抬升时, 由寒冻风化(冻融作用)为主形成的, 顶部尖锐、棱角鲜明而孤立成群的山峰为特征的地貌景观(陈安泽, 2007)(图版 II-A), 峰林借用了喀斯特地貌的专用术语。

(2) 花岗岩石峰、石柱

花岗岩峰林演化的中—晚期, 峰林被进一步分割, 柱状个体形成, 即为花岗岩石峰、石柱地貌景观(崔之久等, 2007)。园区“老祖峰”是大观音阁的最高峰, 辽代耶律倍曾在峰顶修有瞭望台(图版 II-B)。在其东侧, 由于球状风化作用峰顶呈馒头状, 形似乳峰, 故称“玉乳峰”。“独占鳌头峰”位于大朝阳摩天塔南端崖头, 崖头两侧及南端是被断层切割的陡壁, 经侵蚀风化、剥蚀而形成今天的龟头崖; 而“骆驼峰”则昂首向南, 望向大海。“鹰嘴峰”是公园内标志性景观之一, 是被 NNE 向断裂切割而成的一座陡崖峭壁, 壁高百米, 恰似雄鹰立于峰顶。此外, 还有“双峰山”、“牛角峰”和“白象观海”等。

大观音阁的“情望”，整个柱高数十米，由两组垂直节理将其隔开，似一位娇娘在等待远方官人的归来；在东部小阁地区有座“拇指峰”，其拇指和食指直立上伸矗立在山坡上，远望食指似小鸟向远处眺望，而拇指肚上的纹路清晰可见(图版 II -C)。大朝阳地区的“林海风帆”在松涛林海深处忽见一座石柱拔地而起，在两组近垂直节理控制下，石柱呈长条型，因水平节理的切割，在垂直方向上呈垒砌状，似船帆飘扬，令人遐思。

(3) 花岗岩石蛋

花岗岩石蛋是花岗岩独有的球状风化的产物。受原生或次生构造节理的影响，花岗岩岩体被分割成一块块单独的大岩块，因太阳辐射增温、冻融交替出现的影响，岩石表层胀缩变化比内层大，且各种矿物膨胀变形量不同，矿物之间结合处产生裂隙，使花岗岩石块表面逐层剥离，即层状剥蚀作用。由于岩块棱角部位最易被风化、崩削，逐渐圆化，即因球形风化作用，使岩块风化成圆形或近似圆形的石蛋。地质公园内花岗岩石蛋造型较多，形态各异，多分布于山巅溪涧，给人以无限的想象空间。如大观音阁典型的球状风化“石蛋”、形似荷包的“莲花初绽”，卧于山梁之上，状若大球，是由三组节理相互切割后经侵蚀、剥蚀、差异风化作用最终形成的产物(图版 II -D)。

(4) 花岗岩层状节理

花岗岩在侵蚀、剥蚀、差异风化共同作用下，岩石间沿水平节理形成空隙，软弱物质被风化剥蚀掉，只留下坚硬的岩石，一层一层垒砌形成花岗岩层状节理地质遗迹景观。如大朝阳的“天上天”、“金蝉石”、“深谷探幽”，大芦花与双峰山地区的“天书崖”等均由数块风化石垒砌而成。此种景观主要分布在北镇千家寨——双峰山一线以北，这是因为医巫闾山园区北部抬升快，侵入岩矿物成分颗粒粗，易被风化的结果。

(5) 蜂窝蘑菇型侵蚀微地貌

风蚀壁龛(石窝)是普遍发育在花岗岩壁上的一种典型的风蚀地貌形态。其成因是岩石在风蚀、水蚀共同作用下，将岩石中抗风化能力较弱部分侵蚀掉，形成今天的蜂窝状、蘑菇型、石缸、石盆、石槽等地质遗迹景观(图版 II -E)。在医巫闾山发现大量风蚀地貌地质遗迹景观，从山顶到山下连续分布，医巫闾山最高峰望海寺峰顶海拔达 866.6 m，在如此高海拔山峰也有发现。也有认为是海蚀地貌遗迹，形成于白垩纪中期(125—90 Ma)(商翎等, 2006)。

(6) 花岗岩洞穴

花岗岩是不易溶解的岩石，因此不易形成像在石灰岩地区常见的溶洞。但是医巫闾山地区的花岗

岩洞穴数量较多，大小洞穴据不完全统计有上百个，多数都是长、高在 10 m 以内的花岗岩洞穴。其主要形成原因是由于雨水沿花岗岩体内断裂冲刷，冬天流水结冰形成冻胀，断裂上盘岩块不断被侵蚀，由于重力作用而产生崩塌，进而形成不规则的堆石洞。此外，在石蛋发育的地方，石蛋间的空隙也因为崩塌等形成岩洞。在医巫闾山已发现的众多花岗岩洞穴中，最具规模和特色的当属大石棚花岗岩洞穴，该洞穴自西向东展布，长 45 m，上宽 20 m，下宽 10 m，进深 5 m，中间洞高大于 10 m(图版 II -F)，因此，花岗岩中的洞穴以崩塌堆积为主，与石灰岩地区因溶蚀而形成的洞穴有根本的区别。

2.3.2 火山碎屑堆积地貌景观

位于义县古生物园区八塔山的火山地貌景观，主要为火山灰与火山角砾混杂堆积，主要岩性为粗安岩、玄武安山岩，斑状结构，斑晶以斜长石为主。混杂堆积成层状，可能是后期经过流水搬运改造，基质风化，岩砾脱落的结果(图版 II -G, H)。

2.3.3 变质核杂岩

变质核杂岩是构造上被低角度正断层拆离的、呈孤立的平缓穹形或拱形强烈变形的变质岩和侵入岩构成的隆起，往往出现在造山带的核部。这套深部岩石也称火山侵入杂岩，见于医巫闾山园区的芦花峭壁(图版 II -I)。

2.3.4 流水地貌景观

在大凌河两岸多地形成河流堆积阶地，记录着大凌河的发育历史。其中，冲积 I 级阶地分布在义县头台乡破台子、四方台至宜州镇的大凌河两岸，具有河流二元结构，由冲积亚砂土和砂砾石组成。冲洪积 III 级阶地分布在破台子，为基座阶地，上部为红色砂砾卵石，下部为基岩，前缘陡坎明显，高出河漫滩 15 m。侵蚀陡崖分布在义县万佛堂福山一带，地层为义县组凝灰质砾岩，受构造运动抬升，河流下切形成陡峭崖壁。以上是流水侵蚀地貌景观，还有流水堆积地貌景观河心岛。

2.3.5 构造地貌景观

医巫闾山园区岩石裂隙发育密集，尤以 NE 及 NNE 向压扭性断裂、裂隙最为发育，形成一个较密集的断裂带，园内多处可见到断裂构造遗迹。这些断裂构造行迹角度陡，近于直立，延伸长度不同，主要表现为高大陡峭的陡崖峭壁、断层山、断层崖、断层谷等。“断层山”位于大观音阁东部曹屯北山，顶峰高 241 m，山体由两部分组成：北侧峰顶部分是由 NE 向裂隙组成的山体，且在南端形成陡崖，而南侧是由 NW 向裂隙组成的低山坡，二者之间高差大于 50 m，因此形成断层山。“双线天”是由 NE 向断层控制而成，两侧断层面像两座石壁相对而立，

高度 25~30 m, 长度 50~70 m, 两座石壁中间夹一道巨大的石屏, 宽约 3 m, 高约 20 m, 行人可在石屏两侧夹缝中穿行而过(图版 II-J)。青岩断层长数百米, 高过百米, 是一条 NNE 向的垂直断层。“芦花峭壁”是由于 NNE 向高角度断层、裂隙发育, 在闫山形成一系列 NNE 向的断层山及峭壁悬崖。“断层谷”受 NW 向构造控制, 走向 NW, 谷底宽过百米, 长数百米, 南侧由陡立断层墙组成(图版 II-K)。

2.4 山体崩塌遗迹景观

山体崩塌的成因主要有地质构造、岩性组合、节理裂隙、差异性风化、重力崩塌等。医巫闾山园区内发育有天然洞穴 60 余处, 天然石棚 10 余个, 还有一些崩塌巨石及崩塌堆积洞。主要的山体崩塌地质遗迹有: 灵山崩石、大石棚、滴水观音洞和月牙洞等(图版 II-L)。

2.5 水体景观

位于北镇南端的新立湿地, 是辽河三角洲湿地保护区之一, 湿地面积约 42.77 km²。大石湖瀑布为三级瀑布, 流水沿花岗岩形成的峭壁倾泻而下, 水流宽度散开宽 1 m, 高度 70 m。在大石棚景观处, 夏季洞顶水流顺棚檐飞流直下, 至底形成多级小跌水, 形成石棚飞瀑, 冬季受寒冷温度影响, 则形成冰瀑挂于洞前。

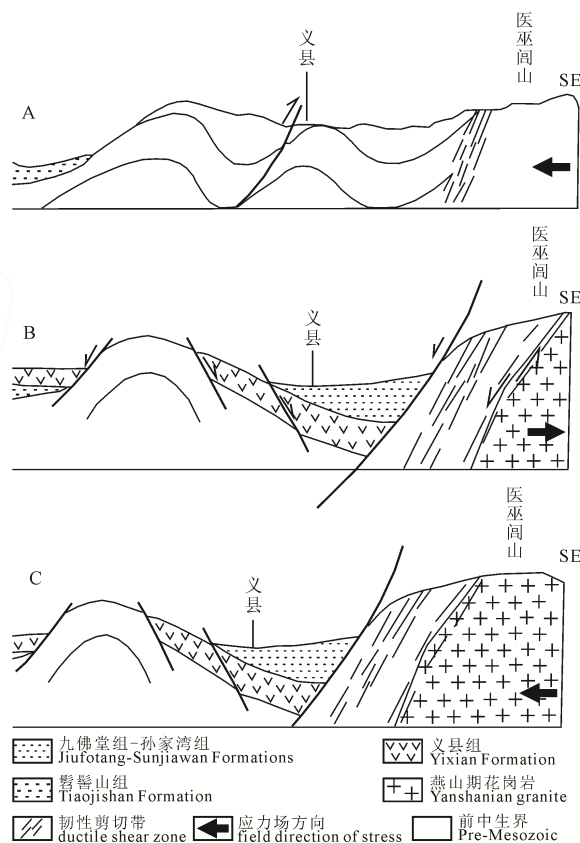
3 地质背景

3.1 阜新一义县盆地

阜新一义县盆地是长轴为 NNE 向的断陷盆地, 盆地内的中生代地层由老到新分别为下白垩统义县组火山-沉积岩(K_{1y})、九佛堂组(K_{1j})、沙海组(K_{1s})和阜新组(K_{1f})碎屑岩及上白垩统孙家湾组(K_{2s})红层和大兴庄组(K_{2dx})火山岩。盆地东、西两侧在构造以及地层分布特征上有很大的差异: 盆地东缘断裂的断陷规模明显大于西侧边缘断裂的断陷规模, 从而导致盆地内火山岩-沉积地层以东倾或东南倾的单斜不对称盆地为特征; 随着东缘断裂晚期断陷作用的加强, 导致地层东西两侧分制的格局, 盆地西部主要为义县组火山岩, 而东部主要为九佛堂组、沙海组和阜新组沉积岩, 并以正断层分割。上白垩统孙家湾组与下伏下白垩统呈角度不整合接触, 上白垩统大兴庄组火山岩分布在义县白庙子附近小范围区域。哈尔套—锦州断裂, 位于医巫闾山西侧, 断裂走向 NE, 倾向 NW, 倾角 45°~70°, 由断续相连平行展布的 NNE 向正断层组成, 长 170 km, 宽约 10 km。在义县白庙子一带该断裂分为两支, 之后合并, 中间夹持义县组火山-沉积地层(辽宁省地质矿产局, 1989; 辽宁省地质勘查局, 2017)(图 1)。

早白垩世, 应力场方向发生改变, 阜新一义县

盆地内由土城子期的挤压作用转变为伸展作用, 并发生了大规模的阶段性火山喷发和沉积作用——形成了义县组火山-沉积岩系, 盆地也由拗陷作用转变为断陷作用为主, 在前一阶段高原的基础上, 形成了 NNE 向的断陷盆地; 九佛堂组河湖相沉积是在义县组基础上, 属于断陷盆地快速沉降和稳定沉降期的产物(Zhang et al., 2007); 沙海组为河流相、湖沼相沉积, 其中发育有许多冲积扇和扇三角洲沉积, 表明沙海组沉积时处于加速沉降阶段; 阜新组则表现出由湖泊变为沼泽、湿地环境的水位变浅的沉积特点, 反映了区域沉降向稳定或抬升的转变, 断陷作用结束; 孙家湾组与下伏地层不整合接触, 反映了盆地已进入了挤压抬升阶段, 只是由于医巫闾山快速隆升, 快速沉积的砾石磨圆、分选很差, 形成具有近源堆积特点的复成分砾岩, 砾石成分主要为花岗岩、糜棱岩、构造片麻岩、石英脉等, 碎屑物来源于医巫闾山隆起带, 至此盆地构造基本定型(图 2)。其后虽有大兴庄组火山喷发与断层活动有所关联, 但是火山喷发及断层活动的强度都不大, 盆地已进入萎缩消亡阶段(路爱平, 2003; 李刚等, 2013)。



A—土城子期; B—义县期—沙海期; C—孙家湾期。

A—Tugengzian age; B—Yixiannian–Shahaian ages;

C—Sunjiawanian age.

图 2 阜新一义县盆地和医巫闾山构造演化简图

(据王五力等, 2003)

Fig. 2 Sketch map of the Fuxin-Yixian basin and Yiwulü Mountain, showing their structural evolution (after WANG et al., 2003)

近年来, 精确的地质年代学研究为准确厘定阜新一义县盆地演化过程和生物群的生存时代奠定了良好的基础。王松山等(2001)通过对义县组命名地义县上底家沟-砖城子剖面义县组下部玄武岩的定年, 获得 K-Ar 年龄(131.2 ± 2.6) Ma, 总气体年龄(130.5 ± 1.5) Ma; 张乾等(2016)对阜新一义县盆地南端曹庄地区义县组火山岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定, 得到义县组下段年龄为(131.5 ± 1.4) Ma; 徐德斌等(2012)在义县北砖城子义县组第一套火山岩取样测定锆石 U-Pb 年龄为(132.3 ± 2.3) Ma。综合分析, 我们把盆地的底限定为 132 Ma。朱日祥等(2002)在砖城子(砖城子层之上)采样测定安山岩 K-Ar 表面年龄($122.31 \sim 120.42$) Ma,

这只能限定砖城子层年龄的上限。Smith et al.(1995)在义县组顶部金刚山沉积层上覆火山岩, 即黄花山角砾岩测得 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄值(121.5 ± 0.9)~(121.6 ± 0.6) Ma, 在后期火山岩中得到(120.8 ± 0.4)~(121.4 ± 0.3) Ma 的年龄值(层位经金帆(2001)校正); 陈文和张彦(2004)在枣茨山东义县组金刚山层英安岩中取样, 采用离子探针 U-Pb 和全岩 Ar-Ar 定年, 认为这套英安岩的形成时代为 122.4~122.6 Ma, 也曾得到 $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄(117.9 ± 7.8) Ma, 但认为没有地质意义; 张宏等(2005)通过对义县组金刚山层之上的黄花山角砾岩层的流纹岩样品中锆石的 LA-ICP-MS 的 U-Pb 测年, 获得其加权平均年龄为(118.9 ± 1.4)~(119.8 ± 1.9) Ma, 通过 Ar-Ar 方法测年, 测得了黄花山角砾岩层的下部岩石中灌入的英安斑岩的年龄, 其坪年龄为(122.1 ± 0.3) Ma, 等时线年龄为(121.8 ± 1.4) Ma。考虑到 He et al.(2004)在九佛堂组获得的同位素年龄为 120.3 Ma, 我们把阜新一义县盆地热河生物生存的时限定为 132~120 Ma。阜新组顶部碱性玄武岩的 K-Ar 年龄为 100.4 Ma(张宏福和郑建平, 2003), 因此, 盆地连续沉积的时限为 132~100 Ma。据郇志波等(2003)报道, 1989 年辽宁省第四地质大队在义县双山子北山取得大兴庄组英安岩 K-Ar 同位素年龄值为 80.83 Ma, 所以, 盆地沉降时限约为 132~80 Ma。

阜新一义县盆地下白垩统义县组下伏地层为王家屯火山岩, 出露于盆地的西缘。张立东等(2002)获得王家屯侵入体(黑云母花岗闪长岩)4 粒锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 152.7~148.2 Ma; 在义县头道河子乡上底家沟采石场, 陈文和张彦(2004)获得王家沟粗面岩中黑云母 $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时年龄为(164.5 ± 2.2) Ma, 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄平均值为(167.4 ± 2.5) Ma, 认为火山岩年龄在 164.5~167.4 Ma 之间。这套火山岩被确定为中—上侏罗统髫髻山组(王五力等, 2004)。

3.2 医巫闾山变质核杂岩

医巫闾山变质核杂岩最早由马寅生等(1999)提出, 认为变质核杂岩中心为晚燕山期的医巫闾山二长花岗岩体, 周围是由代表地壳深部变形特点的太古宇变质岩组成的变质核, 拆离断层带围绕变质核发育; Darby et al.(2004)认为区内不存在对称型的医巫闾山变质核杂岩, 而将其命名为瓦子峪变质核杂岩, 其中倾向北西的瓦子峪拆离断层(即变质核杂岩的主拆离断层)形成于 127~116 Ma, 并控制了变质核杂岩的形成。但瓦子峪拆离断层仅作为变质核杂岩的一个重要组成部分, 且变质核杂岩发育在整个医巫闾山地区, 所以众多学者普遍接受医巫闾山变质核杂岩这一称谓(张必龙等, 2013; 李刚等, 2012; 杜建军等, 2007; 张晓晖等, 2002)。医巫闾山变质核杂岩系统具有典型的三层结构, 即上盘、主拆离断层及下盘, 上盘主要由中元古界长城系盖层及阜新一义县上叠盆地构成, 其中长城系呈零星分布于拆离剪切带之上, 总体呈 NE 走向, 多倾向 NW; 下盘包括大型韧性剪切带和太古代高级变质基底及侵位其中的同构造花岗岩体, 周缘局部残留长城系盖层; 主拆离断层控制着上盘同伸展断陷盆地的形成和下盘医巫闾山的隆升(李刚等, 2013; Darby et al., 2004; 张必龙等, 2013; 李刚等, 2012)。

医巫闾山园区位于医巫闾山变质核杂岩的中心晚燕山期花岗岩体之上, 岩体出露面积约为 450 km², 整体呈纺锤状, NNE 向展布, 岩体的主要岩性为二长花岗岩和花岗闪长岩, 呈岩基和岩株状产出, 侵入于太古宙片麻岩、中元古界长城系碎屑岩和碳酸盐岩地层中, 属中深侵入相, 中等剥蚀, 岩体经历动力作用, 其中石英具定向拉长现象, 为大型韧性剪切带内同构造侵位岩体(张晓晖等, 2002); 辽宁省区调队给出了 118 Ma 的锆石 U-Pb 年龄和 161 Ma 的 K-Ar 等时线年龄, 认为后者为医巫闾山岩体的形成时间, 属于晚侏罗世(辽宁省地质勘查院, 2017)。161 Ma 的岩浆侵位年龄, 也被医巫闾山花岗岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果证实(杜建军等, 2007)。此后, 一系列的同位素测年分析结果显示医巫闾山花岗岩的年龄为 169~154 Ma, 是早期高温韧性剪切带的同构造岩体(张晓晖等, 2002; 杜建军等, 2007; 李刚等, 2019), 与阜新一义县盆地西缘王家屯中—上侏罗统髫髻山组火山岩相对应。此外, 医巫闾山花岗岩体南部的石山岩体形成的时间约为 124 Ma, 是晚期低温韧性剪切带同构造岩体(张晓晖等, 2002; 李刚等, 2016), 与早白垩世义县期火山岩相对应。

3.3 盆地沉降和山脉隆升

如上所述, 瓦子峪拆离断层是一条 NE-SW 波

瓦状低角度正断层,控制着上盘阜新一义县盆地的形成和下盘医巫闾山的隆升。李刚等(2013)对拆离断层带构造岩中白云母进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素测年,获得 (132.64 ± 0.90) Ma 的坪年龄,认为正是拆离断层活动、低温韧性剪切带形成的时期;瓦子峪低温伸展型韧性剪切带向南延伸至锦州一带,在石山镇附近被石山岩体截切,石山岩体形成的时间约为124 Ma(李刚等, 2016),岩体西侧岩石受到构造作用的影响发生糜棱岩化,而岩体东部未发生变形,说明该岩体在此次伸展作用的晚期侵位,医巫闾山地区南端在120 Ma左右已基本停止活动,而中部和北部仍处于伸展断陷阶段(李刚等, 2013)。由上所述,阜新一义县盆地热河生物群生存的时间132~120 Ma与拆离断层和低温韧性剪切带形成的时间基本一致;医巫闾山西侧先隆升、自西向东逐渐抬升的特点,也与其上盘阜新一义县盆地西老东新的地层发育特点基本一致,同时伸展作用持续时间南短北长对应着医巫闾山北高南低的地势特征。到了阜新时期晚期,盆地已经开始抬升,这与李刚等(2013)获得的白云母封闭温度的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄 (117.17 ± 0.69) Ma代表早白垩世伸展作用晚期的冷却年龄的观点基本一致;考虑到盆地连续沉积的时限为132—100 Ma,医巫闾山伸展作用持续的时间应该在15 Ma以上。到了晚白垩世,本区进入挤压环境,盆地处于抬升阶段,仅仅由于挤压作用导致的医巫闾山的快速隆升,近源堆积了孙家湾组复成分砾岩并伴随着大兴庄组中酸性火山岩喷发,并且受哈尔套-锦州断裂控制,哈尔套-锦州断裂东北构成了主拆离断层的一部分,延伸入盆地的部分为晚白垩世形成,阜新一义县盆地盆缘断裂应该是主拆离断层。

3.4 大陆动力学背景

园区位于辽西地区东部,构造位置处于华北克拉通东北部,燕山造山带东段。燕山造山带的构造格局在辽西地区由近EW向展布转折为NE向展布,园区便处在燕山造山带NE向展布的区域。医巫闾山东侧经由一条隐伏断裂与下辽河盆地相邻,西侧经由主拆离断层与阜新一义县盆地相接,由于主拆离断层的活动,盆地沉降、医巫闾山隆起形成了现今的盆岭构造格局(图1)。但无论是同伸展断陷盆地、变质核杂岩、拆离断层、大规模火山活动(火山喷发和花岗岩侵入),还是由这些伸展活动形成的盆岭构造格局,都是地壳深部过程的浅部地质响应,是反映深部岩石圈减薄和华北克拉通破坏的窗口,其大陆动力学背景是西太平洋板块向东亚大陆的俯冲和俯冲角度的不断变化(朱日祥等, 2012; 朱日祥和徐义刚, 2019)。

中一晚侏罗世,以髫髻山组火山岩底部不整合面为标志,燕山运动A幕开启(Wong, 1926, 1927, 1929),经过短暂的挤压作用,开始了伸展作用,伴随着大规模的火山活动,在医巫闾山地区的地下形成了高温韧性剪切带和同构造的医巫闾山花岗岩体(侵入岩),对应着王家屯髫髻山火山岩(喷出岩),此时是燕辽生物群晚期玲珑塔生物群繁荣时期,繁荣期大约在160 Ma(黄迪颖, 2015; 王亮亮等, 2013)。随后在147 Ma左右由伸展转变为挤压作用(张宏等, 2008),进入土城子期高原环境,燕辽生物群消亡。以张家口组火山岩下的不整合面为标志,燕山运动B幕开启,随着短暂的挤压过后,进入大规模的伸展作用,瓦子峪拆离断层形成,开始了上盘同伸展断陷盆地沉降和下盘医巫闾山的隆升,在医巫闾山形成的低温韧性剪切带和同构造的石山岩体(侵入岩),对应着义县组火山岩(喷出岩),伴随着阜新一义县盆地的形成和发展,热河生物群开始繁荣,一般认为热河生物群发育时期是135—120 Ma,也被Yang et al.(2020)最新的测年成果证实,但阜新一义县盆地热河生物群发育的时期稍晚132—120 Ma,并且与主拆离断层活动时间一致,随着主拆离断层停止活动,热河生物群也进入了消亡阶段。晚白垩世,医巫闾山地区又进入挤压阶段。医巫闾山的隆升和同伸展断陷盆地的沉降形成了现今的盆岭构造格局,也是辽西地区最壮观的构造,成为研究地球深部过程的重要窗口(辽宁省地质勘查院, 2017; 江淑娥等, 2009)。

如上所述,同伸展断陷盆地、变质核杂岩、大规模火山活动都是地球深部过程的浅部地质响应,其大陆动力学背景是西太平洋板块俯冲,其实燕山运动形成的唯一动力源也是古太平洋板块的俯冲作用(王瑜等, 2018)。朱日祥等(2020)通过对华北克拉通破坏、浅部地质响应及其陆地生物演化的综合研究揭示:华北克拉通在中侏罗世晚期、早白垩世初和早白垩世末经历了3次地壳挤压事件,而中一晚侏罗世和早白垩世主要为强烈伸展构造阶段;3次挤压事件分别对应古太平洋板块3次低角度俯冲过程,而晚侏罗世和早白垩世两次伸展变形和火山活动则与古太平洋板块高角度俯冲、俯冲板片回转以及俯冲带回撤相关,燕辽生物群和热河生物群形成、繁盛和消亡在很大程度上也受深部动力过程和裂谷盆地演化的控制。

4 结论

(1)辽宁锦州古生物化石和花岗岩国家地质公园内的地质遗迹景观可划分为6大类13类14亚类,地质遗迹景点总计60个。其中,古生物园区有标准

剖面 1 个, 古生物化石遗迹景观 20 个, 火山地貌景观 1 个, 总计 22 个; 医巫闾山园区地貌景观 29 个(其中花岗岩地貌景观 24 个), 山体崩塌景观 5 个, 水体景观 4 个, 总计 38 个。

(2) 公园古生物园区所在的阜新一义县盆地和医巫闾山园区所在的医巫闾山同属于医巫闾山变质核杂岩系统, 分别位于以医巫闾山 NNE 向大型韧性剪切带顶部为界的主拆离断层的上、下盘。随着主拆离断层的活动, 下盘医巫闾山隆升, 上盘阜新一义县盆地沉降, 伴随着盆地的形成和发展, 热河生物群开始形成、繁盛; 阜新一义县盆地热河生物群发育的时期稍晚(132~120 Ma), 并且与主拆离断层活动时间一致, 随着主拆离断层停止活动, 热河生物群也进入了消亡阶段。

Acknowledgements:

This study was supported by Scientific Research Foundation of Hainan Tropical Ocean University (No. RHDRC202008).

参考文献:

- 郇志波, 刘文海, 黄志安, 张福生. 2003. 辽西上白垩统大兴庄组地层层序及时代[J]. 地质通报, 22: 351-355.
- 陈安泽. 2007. 中国花岗岩地貌景观若干问题讨论[J]. 地质论评, 53(增刊): 1-8.
- 陈文, 张彦. 2004. 同位素地质年代学[M]//季强, 陈文, 王五力. 中国辽西中生代热河生物群. 北京: 地质出版社: 96-157.
- 崔之久, 杨建强, 陈艺鑫. 2007. 中国花岗岩地貌的类型特征与演化[J]. 地理学报, 62(7): 675-690.
- 杜建军, 马寅生, 赵越, 王彦斌. 2007. 辽西医巫闾山花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. 中国地质, 34(1): 26-33.
- 国土资源部地质环境司. 2016. 国家地质公园建设指南[M]. 北京: 地质出版社.
- 侯连海, 周忠和, 张福成, 顾玉才. 2015. 中国辽西中生代鸟类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社.
- 黄迪颖. 2015. 燕辽生物群和燕山运动[J]. 古生物学报, 54: 501-546.
- 季强, 姬书安, 程延年, 尤海鲁, 吕君昌, 袁崇喜. 2004. 辽西晚中生代热河生物群中首次发现具胚胎的软壳蛋化石[J]. 地球学报, 25(3): 275-285.
- 季强, 姬书安, 尤海鲁, 张建平, 袁崇喜, 季鑫鑫, 李景路, 李印先. 2002. 中国首次发现真正会飞的“恐龙”——中华神州鸟(新属新种)[J]. 地质通报, 21(7): 363-369.
- 江淑娥, 刘晓林, 张国仁, 潘玉启, 鲁红峰. 2009. 辽西中生代盆地特征及盆岭构造[J]. 地质与资源, 18(2): 81-86.
- 金帆. 2001. 评介 Smith 等的热河群 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素测年结果[J]. 古脊椎动物学报, 39(2): 151-156.
- 李刚, 蒋职权, 邵学峰, 高万里, 刘正宏. 2019. 医巫闾山中-晚侏罗世构造变形与同构造花岗岩的耦合关系[J]. 地学前缘, 26(2): 72-91.
- 李刚, 刘正宏, 崔维龙, 白相东. 2016. 医巫闾山地区早白垩世同伸展花岗岩就位机制[J]. 岩石学报, 32(9): 2677-2689.
- 李刚, 刘正宏, 刘俊来, 李永飞, 徐仲元, 董晓杰. 2012. 医巫闾山伸展型韧性剪切带的形成过程及年代学证据[J]. 中国科学: 地球科学, 42(6): 879-892.
- 李刚, 徐仲元, 刘正宏, 李永飞, 李世超, 董晓杰. 2013. 医巫闾山变质核杂岩早白垩世伸展变形[J]. 岩石学报, 29(3): 938-952.
- 辽宁省地质勘查院. 2017. 中国区域地质志·辽宁志[M]. 北京: 地质出版社: 1215-1217.
- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 刘金远, 姬书安, 唐烽, 高春玲. 2004. 辽西义县组奔龙类化石一新种[J]. 地质通报, 23(8): 778-783.
- 路爱平. 2003. 盆地构造演化沉积环境及非煤能源矿产评述[J]. 辽宁工程技术大学学报, 22(5): 606-608.
- 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 吴珍汉, 朱大岗, 李晓, 冯向阳. 1999. 医巫闾山变质核杂岩构造特征[J]. 地球学报, 20(4): 385-391.
- 商翎, 高飞, 张立东, 郑月娟, 张志斌. 2006. 辽西医巫闾山海蚀地貌遗迹的发现及其意义[J]. 地质与资源, 15(4): 253-271.
- 王亮亮, 胡东宇, 张立君, 郑少林, 贺怀宇, 邓成龙, 汪筱林, 周忠和, 朱日祥. 2013. 辽西建昌玲珑塔地区侏罗纪地层的离子探针锆石 U-Pb 定年: 对最古老带羽毛恐龙的年代制约[J]. 科学通报, 58(14): 1346-1353.
- 王松山, 胡华光, 李佩贤. 2001. 辽西义县组的地质时代[J]. 矿物岩石地球化学通报, (4): 289-291.
- 王五力, 张宏, 张立君, 郑少林, 杨芳林, 李之彤, 郑月娟, 丁秋红. 2004. 土城子阶义县阶标准地层剖面及其地层古生物、构造-火山作用[M]. 北京: 地质出版社.
- 王五力, 张宏, 郑少林, 杨芳林, 李之彤, 张立君, 郑月娟. 2003. 冀北-辽西广义义县组火山旋回地层研究——热河生物群相关火山岩地层及火山作用[R]. 沈阳: 中国地质调查局沈阳地质矿产研究所.
- 汪筱林, 徐星. 2001. 辽西义县组禽龙类新属种: 杨氏锦州龙[J]. 科学通报, 46(5): 419-423.
- 王旭日, 季强, 藤芳芳, 金克漠. 2013. 中国辽宁义县早白垩世燕鸟一新种[J]. 地质通报, 32(4): 601-606.
- 王瑜, 孙立新, 周丽云, 谢玥婷. 2018. 燕山运动与华北克拉通破坏关系的讨论[J]. 中国科学: 地球科学, 48(5): 521-535.
- 吴文昊, GODEFROIT P, 胡东宇. 2010. 辽宁义县组禽龙类恐龙一新属种——义县薄氏龙 *Bolong yixianensis* gen. et sp. nov[J]. 地质与资源, 19(2): 127-133.
- 徐德斌, 李宝芳, 常征路, 张俊宝, 蔡厚安. 2012. 辽西阜新-彰武-黑山区白垩系火山岩 U-Pb 同位素年龄、层序和找煤研究[J]. 地学前缘, 19(6): 156-166.
- 张必龙, 朱光, 陈印, 朴学峰, 鞠林雪, 王浩乾. 2013. 辽西瓦子峪变质核杂岩的变形规律与成因[J]. 中国科学: 地球科学, 43: 1249-1267.
- 张宏, 柳小明, 陈文, 李之彤, 杨芳林. 2005. 辽西北票-义县地区义县组顶部层位的年龄及其意义[J]. 中国地质, 32(4): 596-603.
- 张宏, 韦忠良, 柳小明, 李栋. 2008. 冀北-辽西地区土城子组的 LA-ICP-MS 测年[J]. 中国科学: 地球科学, 38(8): 960-970.
- 张宏福, 郑建平. 2003. 华北中生代玄武岩的地球化学特征与岩石成因: 以辽宁阜新为例[J]. 科学通报, 48: 603-609.
- 张建平. 2020. 解析联合国教科文组织世界地质公园标准[J]. 地质论评, 66(4): 874-880.
- 张立东, 张长捷, 彭艳东, 贾斌, 陈树旺, 邢德和, 丁秋红, 郑月娟. 2002. 北票市、上园、义县、地藏寺幅 1:5 万区域地质调查报告[R]. 沈阳: 中国地质调查局沈阳地质矿产研究所.
- 张立军. 2013. 辽西热河生物群演化的主要地质背景[J]. 世界地质, 32(3): 447-462.
- 张乾, 张梅生, 李晓波, 王旖旎, 刘雪松, 张旻旻. 2016. 辽宁西部兴城曹庄地区义县组岩石地层序列及锆石 U-Pb 年龄[J]. 世界地质, 35(1): 51-65.
- 张武, 李勇, 郑少林, 李楠, 王永栋, 杨小菊, 杨家驹, 袁铁梅,

- 傅小平. 2006. 中国木化石[M]. 北京: 中国林业出版社.
- 张晓晖, 李铁胜, 蒲志平. 2002. 辽西医巫闾山两条韧性剪切带的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄: 中生代构造热事件的年代学约束[J]. 科学通报, 47: 697-701.
- 赵逊, 赵汀. 2003. 中国地质公园地质背景浅析和世界地质公园建设[J]. 地质通报, 22(8): 620-630.
- 中国地质环境监测院. 2013. 拟建辽宁锦州古生物化石和花岗岩国家地质公园综合考察报告[R]. 北京: 中国地质环境监测院.
- 周忠和, 张福成. 2001. 辽西早白垩世今鸟亚纲两新属与现生鸟类的起源[J]. 科学通报, 46(5): 371-377.
- 朱日祥, 邵济安, 潘永信, 史瑞萍, 施光海, 李大明. 2002. 辽西白垩纪火山岩古地磁测定与陆内旋转运动[J]. 科学通报, 47(17): 1335-1340.
- 朱日祥, 徐义刚. 2019. 西太平洋板块俯冲与华北克拉通破坏[J]. 中国科学: 地球科学, 49(9): 1346-1356.
- 朱日祥, 徐义刚, 朱光, 张宏福, 夏群科, 郑天愉. 2012. 华北克拉通破坏[J]. 中国科学: 地球科学, 42(8): 1135-1159.
- 朱日祥, 周忠和, 孟庆任. 2020. 华北克拉通破坏对地表地质与陆地生物的影响[J]. 科学通报, 65(27): 2954-2965.
- ### References:
- ANDRES B, JI Qiang. 2006. A new species of *Istiodactylus* (Pterosauria, Pterodactyloidea) from the Lower Cretaceous of Liaoning, China[J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 26(1): 70-78.
- BING Zhi-bo, LIU Wen-hai, HUANG Zhi-an, ZHANG Fu-sheng. 2003. Stratigraphic sequence and age of the Upper Cretaceous Daxingzhuan Formation in western Liaoning Province[J]. Geological Bulletin of China, 22: 351-355(in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province. 1989. Regional Geology of Liaoning Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHEN An-ze. 2007. Some Problems of Granite Geomorphological Landscapes[J]. Geological Review, 53(Supplement): 1-8(in Chinese with English abstract).
- CHEN Wen, ZHANG Yan. 2004. Isotope geochronology[C]//JI Qiang, CHEN Wen, WANG Wu-li. Mesozoic Jehol Biota of western Liaoning, China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 96-157(in Chinese).
- CUI Zhi-jiu, YANG Jian-qiang, CHEN Yi-xin. 2007. The Type and Evolution of the Granite Landforms in China[J]. Acta Geographica Sinica, 62(7): 675-690(in Chinese with English abstract).
- DARBY B J, DAVIS G A, ZHANG Xiao-hui, WU Fu-yuan, WILEY S, YANG Jin-hui. 2004. The newly discovered Waziyu metamorphic core complex, Yiwulü Shan, western Liaoning Province, Northwest China[J]. Earth Science Frontiers, 11: 145-155.
- Department of Geological Environment, Ministry of Land and Resources. 2016. Chinese National Geoparks Building Guide[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- DU Jian-jun, MA Yin-sheng, ZHAO Yue, WANG Yan-bin. 2007. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Yiwulüshan granite in western Liaoning and its geological implications[J]. Geology in China, 34(1): 26-33(in Chinese with English abstract).
- ENDO R. 1940. A new genus of Thecodontia from the *Lycopera* beds in Manchoukuo[J]. Bulletin of the National Central Museum of Manchoukuo, 2: 1-14.
- ENDO R, SHIKAMA T. 1942. Mesozoic reptilian fauna in the Jehol mountainland, Manchoukuo[J]. Bulletin of the National Central Museum of Manchoukuo, 3: 1-20.
- GAO Chun-ling, CHIAPPE L M., ZHANG Feng-jiao, POMEROY D L., SHEN Cai-zhi, CHINSARMY A, O. WALSH M. 2012. A subadult specimen of the Early Cretaceous bird *Sapeornis chaoyangensis* and a taxonomic reassessment of sapeornithids[J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 32: 5, 1103-1112, DOI: 10.1080/02724634.2012.693865.
- GAO Ke-qin, CHEN Shui-hua. 2004. A new frog (Amphibia: Anura) from the Lower Cretaceous of western Liaoning, China[J]. Cretaceous Research, 25: 761-769.
- HE Huai-yu, WANG Xiao-lin, ZHOU Zhong-he, WANG Fei, BOVEN A, SHI G H, ZHU Ri-xiang. 2004. Timing of the Jiufotang Formation (Jehol Group) in Liaoning, northeastern China and its implications[J]. Geophysical Research Letters, 31: L12605.
- HE Tao, WANG Xiao-lin, ZHOU Zhong-he. 2008. A new genus and species of caudipterid dinosaur from the Lower Cretaceous Jiufotang Formation of western Liaoning, China[J]. Vertebrata Palasiatica, 46(3): 178-189.
- HOU Lian-hai, CHIAPPE L M, ZHANG Fu-cheng, CHUONG Cheng-ming. 2004. New Early Cretaceous fossil from China documents a novel trophic specialization for Mesozoic birds[J]. Naturwissenschaften, 91: 22-25.
- HOU Lian-hai, ZHOU Zhong-he, ZHANG Fu-cheng, GU Yu-cai. 2002. Mesozoic Birds from Western Liaoning in China[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 31-38(in Chinese).
- HUANG Di-ying. 2015. Yanliao Biota and Yanshan Movement[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 54: 501-546(in Chinese with English abstract).
- JI Qiang, JI Shu-an, CHENG Yan-nian, YOU Hai-lu, LÜ Jun-chang, LIU Yong-qing, YUAN Chong-xi. 2004. Pterosaur egg with a leathery shell[J]. Nature, 432: 572.
- JI Qiang, JI Shu-an, CHENG Yan-nian, YOU Hai-lu, LÜ Jun-chang, YUAN chong-xi. 2004. The first fossil soft-shell eggs with embryos from Late Mesozoic Jehol Biota of western Liaoning, China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 25(3): 275-285(in Chinese with English abstract).
- JI Qiang, JI Shu-an, YOU Hai-lu, ZHANG Jian-ping, YUAN Chong-xi, JI Xin-xin, LI Jing-lu, LI Yin-xian. 2002. Discovery of an avialae bird — *Shenzhouraptor sinensis* gen. et sp. nov. — from China[J]. Geological Bulletin of China, 21(7): 363-369(in Chinese with English abstract).
- JIANG Shu-e, LIU Xiao-lin, ZHANG Guo-ren, PAN Yu-qi, LU Hong-feng. 2009. Characters of the Mesozoic basins and the Basin-Range structures in western Liaoning[J]. Geology and Resources, 18(2): 81-86(in Chinese with English abstract).
- JIN Fan. 2001. Review of the ^{40}Ar - ^{39}Ar dates of the Jehol Group by Smith et al.[J]. Vertebrata Palasiatica, 39(2): 151-156(in Chinese with English abstract).
- LI Gang, JIANG Zhi-quan, SHAO Xue-feng, GAO Wan-li, LIU Zheng-hong. 2019. Relationship between Middle-Late Jurassic deformation and syn-tectonic granitoid emplacement in the Yiwulüshan area, North China[J]. Earth Science Frontiers, 26(2): 72-91(in Chinese with English abstract).
- LI Gang, LIU Zheng-hong, CUI Wei-long, BAI Xiang-dong. 2016. Emplacement of Early Cretaceous syn-extension granitic in Yiwulüshan area, North China[J]. Acta Petrologica Sinica, 32(9): 2677-2689(in Chinese with English abstract).
- LI Gang, LIU Zheng-hong, LIU Jun-lai, LI Yong-fei, XU Zhong-yuan, DONG Xiao-jie. 2012. Formation and timing of the extensional ductile shear zones in Yiwulü Mountain area, western Liaoning Province, North China[J]. Science China Earth Sciences, 55: 733-746.

- LI Gang, XU Zhong-yuan, LIU Zheng-hong, LI Yong-fei, LI Shi-chao, DONG Xiao-jie. 2013. Early Cretaceous extension of the Yiwulüshan metamorphic core complex[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 938-952(in Chinese with English abstract).
- LI Pi-peng, GAO Ke-qin, HOU Lian-hai, XU Xing. 2007. A gliding lizard from the Early Cretaceous of China[J]. *PNAS*, 104:5507-5509.
- Liaoning Institute of Geological Exploration. 2017. Regional Geology of Liaoning, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1215-1217(in Chinese).
- LIU Jin-yuan, JI Shu-an, TANG Feng, GAO Chun-ling. 2004. A new species of dromaeosaurids from the Yixian Formation of western Liaoning[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(8): 778-783(in Chinese with English abstract).
- LIU Jun. 2004. A nearly complete skeleton of *Ikechosaurus piagiouensis* sp. nov. (Reptilia: Chersitodera) from the Jiufotang Formation (Lower Cretaceous) of Liaoning, China[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 42(2): 120-129 (in English with Chinese abstract).
- LU Ai-ping. 2003. Comments on structural evolution depositional environment and minerals of non-coal energy[J]. *Journal of Liaoning Technical University*, 22(5): 606-608(in Chinese with English abstract).
- LÜ Jun-chang, JI Qiang. 2005. A new ornithocheirid from the Early Cretaceous of Liaoning Province, China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 79(2): 157-163.
- LÜ Jun-chang, JI Qiang, WEI Xue-fang, LIU Yong-qing. 2012. A new ctenochasmatooid pterosaur from the Early Cretaceous Yixian Formation of western Liaoning, China[J]. *Cretaceous Research*, 34: 26-30.
- LÜ Jun-chang, JI Shu-an, YUAN Chong-xi, GAO Yu-bo, SUN Zhen-yuan, JI Qiang. 2006. New pterodactyloid pterosaur from the Lower Cretaceous Yixian Formation of western Liaoning[M]//LÜ Jun-chang, KOBAYASHI Y, HUANG Dong. *Papers from the 2005 Heyuan International Dinosaur Symposium*. Beijing: Geological Publishing House: 197-205.
- MA Yin-sheng, CUI Sheng-qin, WU Gan-guo, WU Zhen-han, ZHU Da-gang, Li Xiao, Feng Xiangyang. 1999. The structural feature of metamorphic core complex in Yiwulüshan Mountains, West Liaoning[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(4): 385-391(in Chinese with English abstract).
- QIU Rui, WANG Xiao-lin, WANG Qiang, LI Ning, ZHANG Jia-liang, MA Yi-yuan. 2019. A new caudipterid from the Lower Cretaceous of China with information on the evolution of the manus of Oviraptorosauria[J]. *Scientific Reports*, 9: 6431. doi:10.1038/s41598-019-42547-6.
- SHANG Ling, GAO Fei, ZHANG Li-dong, ZHENG Yue-juan, ZHANG Zhi-bin. 2006. Discovery and significances of the geomorphologic remains of marine erosion in Yiwulü Mountain, western Liaoning Province[J]. *Geology and Resources*, 15(4): 253-271(in Chinese with English abstract).
- SMITH P E, EWENSEN N M, YORK D, CHANG Mee-mann, JIN Fan, LIN Jin-lin, Cumbaa S, Russell D. 1995. Dates and rates in ancient lakes: ^{40}Ar - ^{39}Ar evidence for an Early Cretaceous age for the Jehol Group, northeast China[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32(9): 1426-1431.
- TAKAI F A. 1943. Monograph on the lycopterid fishes from the Mesozoic of Eastern Asia[J]. *Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section II (Geology, Mineralogy, Geography, Seismology)*, 6:207-270.
- TONG Hai-yan, JI Shu-an, JI Qiang. 2004. *Ordosemys*(Testudines: Cryptodira) from the Yixian Formation of Liaoning Province, northeastern China: new specimens and systematic revision[J]. *American Museum Novitates*, 3438: 1-20.
- WANG Liang-liang, HU Dong-yu, ZHANG Li-jun, ZHENG Shao-lin, HE Huai-yu, DENG Cheng-long, WANG Xiao-lin, ZHOU Zhong-he, ZHU Ri-xiang. 2013. SIMS U-Pb zircon age of Jurassic sediments in Linglongta, Jianchang, western Liaoning: Constraint on the age of oldest feathered dinosaurs[J]. *Chinese Science Bulletin*, 58(14): 1346-1353, doi: 10.1360/972012-535(in Chinese with English abstract).
- WANG Min, LI Zhi-heng, LIU Qing-guo, ZHOU Zhong-he. 2020. Two new Early Cretaceous ornithuromorph birds provide insights into the taxonomy and divergence of Yanornithidae (Aves: Ornithothoraces)[J]. *Journal of Systematic Palaeontology*, 18(21): 1805-1827.
- WANG Min, O'CONNOR J, ZHOU Zhong-he. 2019. A taxonomical revision of the Confuciusornithiformes (Aves: Pygostylia)[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 57(1): 1-37.
- WANG Song-shan, HU Hua-guang, LI Pei-xian. 2001. The geological age of Yixian Formation in western Liaoning, China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, (4): 289-291(in Chinese with English abstract).
- WANG Wu-li, ZHANG Hong, ZHANG Li-jun, ZHENG Shao-lin, YANG Fang-lin, LI Zhi-tong, ZHENG Yue-juan, DING Qiu-hong. 2004. Standard sections of Tuchengzi stage and Yixian stage and their Stratigraphy, Palaeontology and tectonic-volcanic actions[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Wu-li, ZHANG Hong, ZHENG Shao-lin, YANG Fang-lin, LI Zhi-tong, ZHANG Li-jun, ZHENG Yue-juan. 2003. Study on volcanic cycle stratigraphy of Guangyixian Formation in northern Hebei and western Liaoning: related volcanic rock stratigraphy and volcanism of Rehe biota[R]. Shenyang: Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey(in Chinese).
- WANG Xiao-lin, ZHOU Zhong-he. 2004. Pterosaur embryo from the Early Cretaceous[J]. *Nature*, 429: 621.
- WANG Xiao-lin, XU Xing. 2001. A new iguanodontid (*Jinzhousaurus yangi* gen. et sp. nov.) from the Yixian Formation of western Liaoning, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 46(19): 1669-1672.
- WANG Xu-ri, JI Qiang, TENG Fang-fang, JIN Ke-mo. 2013. A new species of *Yanornis*(Aves: Ornithurae) from the Lower Cretaceous strata of Yixian, Liaoning Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(4): 601-606(in Chinese with English abstract).
- WANG Yu, SUN Li-xin, ZHOU Li-yun, XIE Yue-ting. 2018. Discussion on the relationship between the Yanshanian Movement and cratonic destruction in North China[J]. *Science China Earth Sciences*, 61: 499-514.
- WONG Wen-hao. 1926. Crustal Movement in Eastern China. In: *Proceed 3rd Pan-Pacific Science Congress, Tokyo*[J]. 1: 642-685.
- WONG Wen-hao. 1927. Crustal movements and igneous activities in eastern China since Mesozoic Time[J]. *Bulletin of Geological Society of China*, 6: 9-37.
- WONG Wen-hao. 1929. The Mesozoic orogenic movement in eastern China[J]. *Bulletin of Geological Society of China*, 8: 33-44.
- WU Wen-hao, GODEFROIT P, HU Dong-yu. 2010. *Bolong yixianensis* gen. et sp. nov.: A new iguanodontoid dinosaur from the Yixian Formation of western Liaoning, Chian[J]. *Geology and Resources*, 19(2): 127-133(in Chinese with English abstract).

- XU De-bin, LI Bao-fang, CHANG Zheng-lu, ZHANG Jun-bao, CAI Hou-an. 2012. A study of the U-Pb isotope age and the sequence of the Cretaceous volcanics and coal-searching in Fuxin-Zhangwu-Heishan Area, West Liaoning Province[J]. Earth Science Frontiers, 19(6): 155-166(in Chinese with English abstract).
- XU Xing, WANG Xiao-lin. 2003. A new maniraptoran dinosaur from the Early Cretaceous Yixian Formation of western Liaoning[J]. Vertebrata Palasiatica, 41(3): 195-202.
- XU Xing, WANG Xiao-lin, YOU Hai-lu. 2001. A juvenile ankylosaur from China[J]. Naturwissenschaften, 88: 297-300.
- XU Xing, ZHOU Zhong-he, WANG Xiao-lin. 2000. The smallest known non-avian theropod dinosaur[J]. Nature, 408: 705-708.
- YANG Sai-hong, HE Huai-yu, JIN Fan, ZHANG Fu-cheng, WU Yuan-bao, YU Zhi-qiang, LI Qiu-li, WANG Min, O'CONNOR J K, DENG Cheng-long, ZHU Ri-xiang, ZHOU Zhong-he. 2020. The appearance and duration of the Jehol Biota: constraint from SIMS U-Pb zircon dating for the Huajiyi Formation in northern China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, DOI: 10.1073/pnas.1918272117.
- YUAN Chong-xi. 2008. A new genus and species of Sapeornithidae from Lower Cretaceous in western Liaoning, China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 82(1): 48-55.
- ZHANG Bi-long, ZHU Guang, CHEN Yin, PIAO Xue-feng, JU Lin-xue, WANG Hao-qian. 2012. Deformation characteristics and genesis of the Waziyu metamorphic core complex in western Liaoning of China[J]. Science China: Earth Sciences, 55: 1764-1781.
- ZHANG Hong, LIU Xiao-ming, CHEN Wen, LI Zhi-tong, YANG Fang-lin. 2005. The age of the top of the Yixian Formation in the Beipiao-Yixian area, western Liaoning, and its importance[J]. Geology in China, 32(4): 596-603(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Hong, WEI Zhong-liang, LIU Xiao-ming, LI Dong. 2008. LA-ICPMS dating of volcanic rock from Tuchengzi Formation in northern Hebei and western Liaoning, China[J]. Science China Earth Sciences, 38(8): 960-970(in Chinese).
- ZHANG Hong-fu, ZHENG Jian-ping. 2003. Geochemical characteristics and petrogenesis of Mesozoic in North China: a case study of Fuxin, Liaoning Province. Chinese Science Bulletin, 48: 603-609(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jian-ping. 2020. Interpretation of the criteria of UNESCO global geopark[J]. Geological Review, 66(4): 874-880(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Li-dong, ZHANG Chang-jie, PENG Yan-dong, JIA Bin, CHEN Shu-wang, XING De-he, DING Qiu-hong, ZHENG Yue-juan. 2002. Regional Geological Survey Report of Beipiao City, Shangyuan County, Yixian County and Dizang Temple at 1:50000[R]. Shenyang: Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey(in Chinese).
- ZHANG Li-jun. 2013. Main geological background during the evolution of Jehol Biota from western Liaoning[J]. Global Geology, 32(3): 447-462(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Li-jun, YANG Ya-jun, ZHANG Li-dong, GUO Sheng-zhe, WANG Wu-li, ZHENG Shao-lin. 2007. Precious fossil-bearing beds of the Lower Cretaceous Jiufotang Formation in western Liaoning Province, China[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 81(3): 357-364.
- ZHANG Qian, ZHANG Mei-sheng, LI Xiao-bo, WANG Yi-ni, LIU Xue-song, ZHANG Min-min. 2016. Stratigraphic sequences and zircon U-Pb dating of Yixian Formation in Caozhuang area of Xingcheng, western Liaoning[J]. Global Geology, 35(1): 51-65(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wu, LI Yong, ZHENG Shao-lin, LI Nan, WANG Yong-dong, YANG Xiao-ju, YANG Jia-ju, YI Tie-mei, FU Xiao-ping. 2006. Fossil Woods of China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House(in Chinese).
- ZHANG Xiao-hui, LI Tie-sheng, PU Zhi-ping. 2002. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of two ductile shear zones in Yiwulüshan Mountains in western Liaoning-the restriction of ages of tectono-magma event in Mesozoic[J]. Chinese Science Bulletin, 7(9): 697-701(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xun, ZHAO Ting. 2003. Geological background of national geoparks of China and construction of world geoparks[J]. Geological Bulletin of China, 22(8): 620-630(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Da-ran, WANG He, LI Sha, WANG Bo, JARZEMBOWSKI E A, DONG Chong, FANG Yan-an, TENG Xiao, YU Ting-ting, YANG Li-chao, LI Yu-ling, ZHAO Xiao-dong, XUE Nai-hua, CHANG Su-Chin, ZHANG Hai-chun. 2021. Synthesis of a chrono- and biostratigraphical framework for the Lower Cretaceous of Jiuquan, NW China: Implications for major evolutionary events[J]. Earth-Science Reviews, 213: 103474.
- ZHOU Zhong-he, ZHANG Fu-cheng. 2004. A precocial avian embryo from the Lower Cretaceous of China[J]. Science, 306: 653.
- ZHOU Zhi-yan, ZHENG Shao-lin. 2003. The missing link of *Ginkgo* evolution[J]. Nature, 423: 821-822.
- ZHOU Zhong-he, ZHANG Fu-cheng. 2001. Two new ornithurine birds from the Early Cretaceous of western Liaoning, China[J]. Chinese Science Bulletin, 46(15): 1258-1264.
- ZHU Ri-xiang, SHAO Jian, PAN Yong-xin, SHI Rui-ping, SHI Guang-hai, LI Da-ming. 2002. Paleomagnetic data from the Early Cretaceous volcanic rocks of West Liaoning: Evidence for intra-continental rotation[J]. Chinese Science Bulletin, 47(17): 1335-1340(in Chinese with English abstract).
- ZHU Ri-xing, XU Yi-gang. 2019. The subduction of the west Pacific Plate and the destruction of the North China Craton[J]. Science China Earth Sciences, 62(9): 1340-1350.
- ZHU Ri-xiang, XU Yi-gang, ZHU Guang, ZHANG Hong-fu, XIA Qun-ke, ZHENG Tian-yu. 2012. Destruction of the North China Craton[J]. Sciences China Earth Sciences, 55(10): 1565-1587.
- ZHU Ri-xing, ZHOU Zhong-he, MENG Qing-ren. 2020. Destruction of the North China Craton and its influence on surface geology and terrestrial biotas[J]. Chinese Science Bulletin, 65(27): 2954-2965(in Chinese with English abstract).

图版说明

图版 I Plate I

- A-葛氏义县鸟;
B-马氏燕鸟;
C-反鸟类胚胎;
D, E-翼龙胚胎;
F-金刚山义县翼龙;
G-中华神州鸟;
H-长掌义县龙;

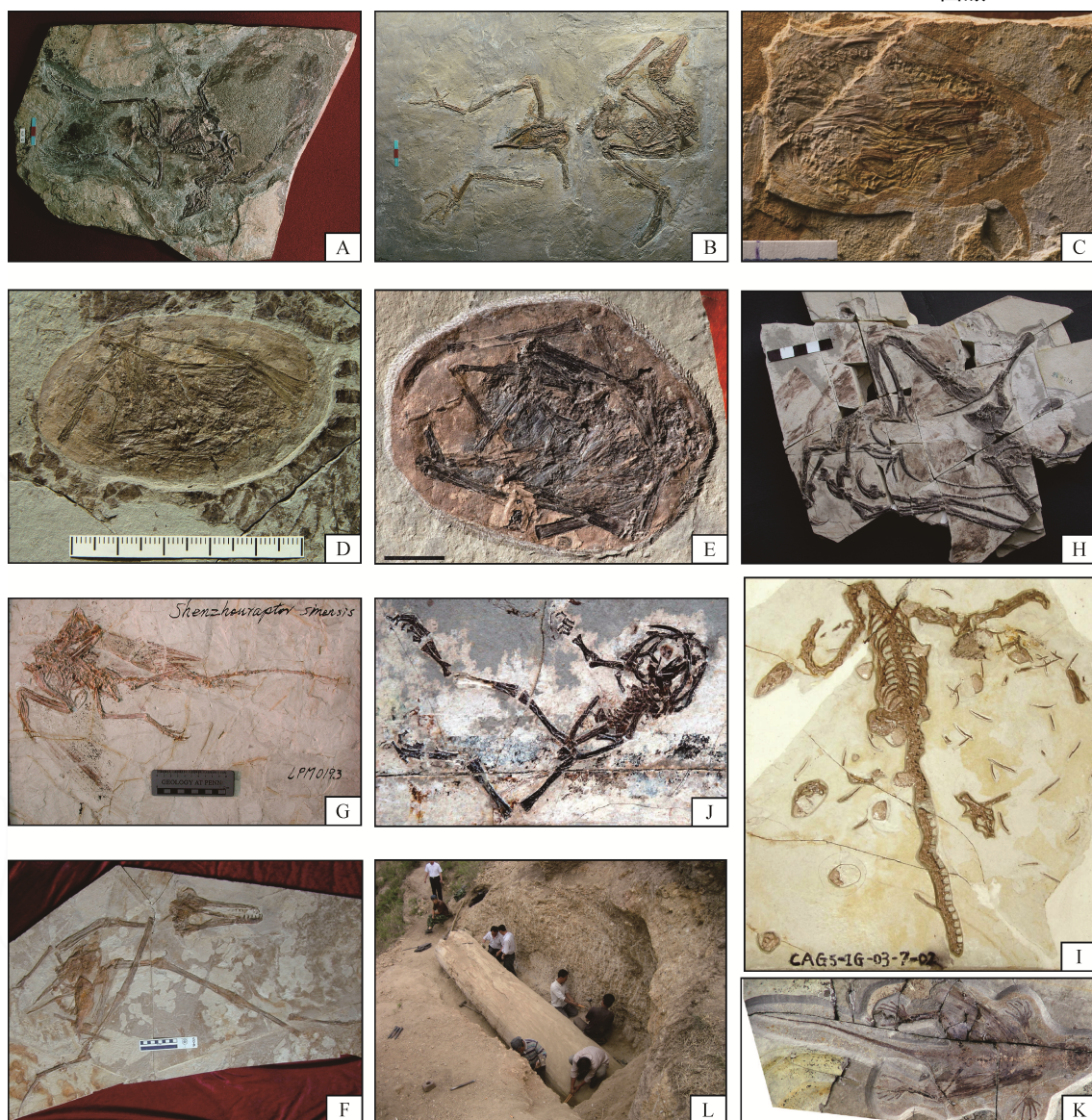
I-白台沟潜龙;
J-细弱宜州蟾;
K-赵氏翔龙;
L-木化石王
A-*Yixianornis grabaui*;
B-*Yanornis martini*;
C-Enantiornithine embryo;
D, E-Pterosaur egg with embryo;
F-*Yixianopterus jingangshanensis*;
G-*Shenzhouraptor sinensis*;
H-*Yixianosaurus longimanus*;
I-*Hyphalosaurus baitaigouensis*;
J-*Yizhoubatrachus macilentus*;
K-*Xianglong zhaoi*;
L-largest fossil wood found in western Liaoning

图版 II Plate II

A-花岗岩峰林;
B-花岗岩石峰;
C-花岗岩石柱;

D-花岗岩球状风化;
E-花岗岩风蚀地貌;
F-花岗岩洞穴;
G-火山碎屑岩呈层状混杂堆积;
H-火山灰与火山角砾混杂堆积;
I-变质核杂岩;
J-断层山;
K-断层谷;
L-山体崩塌
A-granitic stone forest;
B-granitic stone peak;
C-granitic stone pillar;
D-granitic onion weathering;
E-granitic aeolian landscape;
F-granitic cave;
G-volcanic clastic sediment;
H-volcanic ash and breccia;
I-metamorphic core complexes;
J-mountain of dislocation;
K-fault valley;
L-mountain mass breakdown

图版 I Plate I



图版 II Plate II

